

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

**Porovnání nástrojů pro frézování s kruhovými
destičkami**

Comparison of Tools for Milling with Round Inserts

Vypracovala:

Martina Kozlovská

Vedoucí práce:

Ing. Tomáš Zlámal, Ph.D.

Ostrava 2017

Zadání bakalářské práce

Student: **Martina Kozlovská**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Téma: **Porovnání nástrojů pro frézování s kruhovými destičkami**
Comparison of Tools for Milling with Round Inserts
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod.
2. Problematika konstrukce a volby geometrie nástrojů.
3. Analýza vybrané konkurence nástrojů Pramet.
4. Návrh experimentálních zkoušek obrábění.
5. Vyhodnocení dat ze zkoušek obrábění.
6. Závěr a doporučení.

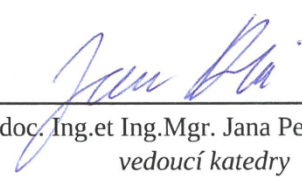
Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábání*. 1. vyd. Žilina : Žilinská univerzita v Žiline, EDIS, 2007. 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8.
- [2] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; SADÍLEK, M.; PETŘKOVSKÁ, L.; NOVÁKOVÁ, J. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007. Dostupné na <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO>. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [3] HAVRILA, Michal; ZAJAC, Jozef; BRYCHTA, Josef; JURKO, Jozef; *Top trendy v obrábění, I. část – Obráběné materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 205 s. ISBN 80-968954-2-7.
- [4] ZAJAC, Jozef; JURKO, Jozef; ČEP, Robert. *Top trendy v obrábění, II. část – Nástrojové materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 193 s. ISBN 80-968954-2-7.


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Tomáš Zlámal, Ph.D.**

Datum zadání: 09.12.2016
Datum odevzdání: 15.05.2017


doc. Ing.et Ing.Mgr. Jana Petrů, Ph.D.
vedoucí katedry




doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou Bakalářskou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

Tato práce byla vypracována se souhlasem společnosti Pramet Tools, s.r.o. v Šumperku.

V Ostravě 15. 5. 2014

Kozlovská M.

podpis studenta

Prohlašuji, že:

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 15.5.2017

Mozlovská M.

podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce:

Martina Kozlovská

Adresa trvalého bydliště autora práce: Čajkovského 1927/16, Šumperk, 787 01

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

KOZLOVSKÁ, M. *Porovnání nástrojů pro frézování s kruhovými destičkami*. VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie, 2017, 61 s. Bakalářská práce, vedoucí: Ing. Tomáš Zlámal, Ph.D.

Bakalářská práce se zabývá porovnáním nástrojů pro frézování s kruhovými destičkami. V první části práce je obecně popsána konstrukce a geometrie nástrojů s kruhovými VBD. Následuje popis vybraného typu nástroje společnosti Pramet Tools s.r.o. a dvou výrobců. Hlavní část práce je zaměřena na experimentální zkoušky obrábění, které jsou rozděleny na funkčních zkoušky obrábění a zkoušky obrábění na stanovení trvanlivosti. Závěrečná část práce je věnována vyhodnocení dosažených výsledků obou zkoušek obrábění.

Klíčová slova: frézování, kruhové destičky, Pramet, Pramet Tools s.r.o.

ANNOTATION TO BACHELOR THESIS

KOZLOVSKÁ, M. *Comparison of Tools for Milling with Round Inserts*. VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining and Assembly, 2017, 61 p. Bachelor thesis, head: Tomas Zlamal.

The bachelor thesis deal with compariosn of tools for milling with round inserts. In the first part is common described design and geometry of tools with round inserts. Next part described chosen tools of Pramet Tools company and two producers. The main part is focused on experimental tests of milling which are split on functional cutting tests and durability tests. The final part is dedicated on evaluation of cutting tests results.

Keywords: milling, round inserts, Pramet, Pramet Tools

Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů	8
Úvod.....	10
1 Konstrukce a geometrie nástrojů	11
1.1 Konstrukce fréz	11
1.2 Geometrie fréz	12
1.3 Úhly na frézovacím nástroji.....	14
2 Nástroje s kruhovými VBD	16
2.1 Tvarové frézování	16
2.2 Trvanlivost břitu VBD a trvanlivost nástroje.....	17
2.3 Charakteristika opotřebení břitu nástroje	18
2.4 Utváření třísky v místě řezu	20
2.5 Charakteristika třísky.....	20
2.6 Kvalita obrobené plochy.....	22
2.7 Zatížení vřetene obráběcího stroje	23
2.8 Rozdělení obráběných materiálů	23
3 Představení sortimentů nástrojů s kruhovými VBD	25
3.1.1 Společnost Pramet Tools s.r.o.....	25
3.1.2 Výrobce č. 1	26
3.1.3 Výrobce č. 2	27
4 Návrh experimentálních činností.....	29
4.1 Volba nástrojů	29
4.1.1 Společnost Pramet Tools s.r.o.....	30
4.1.2 Výrobce č. 1	30
4.1.3 Výrobce č. 2	31
4.2 Volba obráběného materiálu	31
4.3 Volba stroje	33
4.4 Funkční zkoušky obrábění	34
4.4.1 Volba řezných podmínek při obrábění oceli ČSN 12 050.1	35
4.5 Zkoušky obrábění na stanovení trvanlivosti	35
4.5.1 Volba řezných podmínek při obrábění oceli ČSN 12 050.9	35
5 Vyhodnocení zkoušek obrábění.....	37

5.1	Funkční zkoušky obrábění	37
5.1.1	Utváření třísky v místě řezu	37
5.1.2	Charakteristika třísky	38
5.1.3	Kvalita obrobené plochy	38
5.1.4	Zatížení vřetene obráběcího stroje	43
5.2	Zkoušky obrábění na stanovení trvanlivosti	46
	Závěr	54
	Seznam použité literatury	57
	Seznam příloh	58

Seznam použitých zkratk a symbolů

<i>A</i>	tažnost	[%]
<i>ARO</i>	axiální házivost	[mm]
<i>CVD</i>	chemická metoda nanášení povlaku	[-]
<i>D</i>	průměr frézy	[mm]
<i>D_{ef}</i>	efektivní průměr frézy	[mm]
<i>H</i>	výška nástroje	[mm]
<i>HB</i>	tvrdost podle Brinela	[-]
<i>HRC</i>	tvrdost podle Rockwella	[-]
<i>HV</i>	tvrdost podle Vickerse	[-]
<i>IC</i>	vepsaná kružnice	[mm]
<i>ISO</i>	mezinárodní norma	[-]
<i>K</i>	řezivost	[%]
<i>PVD</i>	fyzikální metoda nanášení povlaku	[-]
<i>R_a</i>	drsnost povrchu	[μm]
<i>R_e</i>	mez kluzu	[MPa]
<i>R_m</i>	mez pevnosti v tahu	[MPa]
<i>R_z</i>	drsnost povrchu	[μm]
<i>RRO</i>	obvodová házivost	[mm]
<i>SK</i>	slinutý karbid	[-]
<i>T</i>	trvanlivost	[min]
<i>VB_B</i>	opotřebení hlavního břitu na hřbetě	[mm]
<i>VBD</i>	vyměnitelná břitová destička	[-]
<i>a_e</i>	radiální hloubka řezu	[mm]
<i>a_{p max}</i>	maximální axiální hloubka řezu	[mm]
<i>a_p</i>	axiální hloubka řezu	[mm]
<i>d</i>	upínací otvor	[mm]
<i>f_{min}</i>	minutový posuv	[mm . min ⁻¹]
<i>f_z</i>	posuv na zub	[mm]
<i>h_m</i>	tloušťka třísky	[mm]
<i>n</i>	otáčky	[1 . min ⁻¹]
<i>v_c</i>	řezná rychlost	[m . min ⁻¹]

z	počet zubů	[-]
γ_f	radiální úhel čela (nástrojový boční úhel čela)	[°]
γ_o	ortogonální úhel čela	[°]
γ_p	axiální úhel čela (nástrojový zadní úhel čela)	[°]
κ_r	úhel nastavení ostří	[°]
λ_s	úhel sklonu ostří	[°]

Úvod

Frézování jako jedna z technologií třískového obrábění má své nezastupitelné místo v celém spektru strojních a technických odvětví. Efektivní výroba forem pro sériovou a hromadnou výrobu je nemyslitelná bez produktivních a ekonomicky příznivých nástrojů.

Frézovací nástroje osazené kruhovými destičkami nachází své místo především při obrábění rovinných a tvarových ploch, které jsou hlavně zastoupeny při výrobě forem pro celé spektrum zákazníků z řad spotřebního a automobilového průmyslu. Kruhovité destičky svou konstrukcí zaujímají velmi efektivní postavení vůči ostatním tvarům a typům destiček ze slinutých karbidů. Kruhový tvar destičky nabízí její variabilní použití a v kombinaci s vhodným typem frézovacího nástroje umí nabídnout vysokou produktivitu práce, spolehlivost a ekonomičnost provozu.

Tato bakalářská práce se zaměřuje na sortiment nástrojů pro frézování s kruhovými destičkami a na porovnání prototypu frézovacího nástroje společnosti Pramet Tools, s.r.o. Šumperk, vůči dalším výrobcům fréz.

Cílem bakalářské práce je provést analýzu vybraného sortimentu frézovacích nástrojů Pramet a konkurence, a tato řešení navzájem otestovat – porovnat a odzkoušet na zkušebně obrábění na obráběném materiálu – uhlíkové oceli ČSN 12 050 (C45). Následně je cílem provést vyhodnocení všech zkoušek obrábění, provést analýzu dosažených výsledků a případně i navrhnout řešení pro nový sortiment frézovacích nástrojů s kruhovými destičkami pro společnost Pramet Tools, s.r.o. Šumperk.

1 Konstrukce a geometrie nástrojů

1.1 Konstrukce fréz

Frézy jsou několikabřité nástroje, na nichž jsou břity uspořádány na válcové, kuželové nebo jiné tvarové ploše frézy. U čelních fréz jsou i na čelní ploše. Vzhledem k velkému rozsahu technologie se používá velmi mnoho druhů fréz, z nichž většina je normalizovaná. [1]

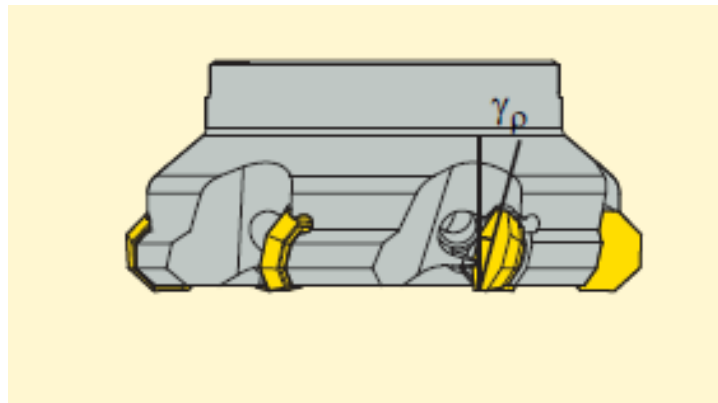
Vyráběné frézy lze rozdělit do jednotlivých skupin podle různých hledisek: [1]

- podle ploch, na nichž leží ostří,
 - válcové – ostří se nachází na válcové ploše,
 - čelní – zuby se nachází na čelní ploše,
 - válcové čelní – ostří se nachází na obou plochách,
- podle druhu materiálu nástrojů,
 - rychlořezné oceli,
 - slinuté karbidy,
 - cermetů,
 - řezné keramiky,
 - CNB,
- podle směru zubů vzhledem k ose rotace,
 - zuby přímé,
 - ve šroubovici,
- podle konstrukčního uspořádání,
 - celistvé (jeden materiál pro zuby i těleso),
 - s VBD mechanicky upevněnými v tělese,
- podle geometrického tvaru funkční části,
 - válcové,
 - kotoučové,
 - drážkovací,
 - kopírovací,
 - na výrobu ozubení,
- podle způsobu upnutí,

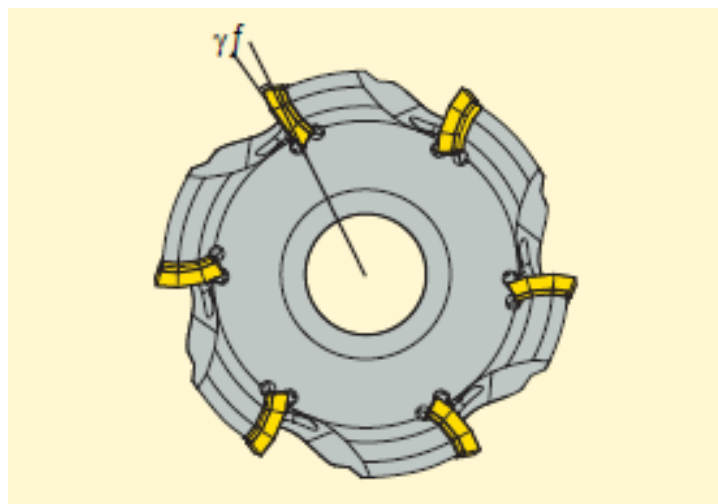
- nástrčné – upínají se na centrální otvor,
- stopkové – upínají se za válcovou nebo kuželovou stopku. [1]

1.2 Geometrie fréz

Frézovací nástroje jsou charakterizovány dvěma základními úhly tj. axiálním úhlem čela γ_p (obr. 1.1) a radiálním úhlem čela γ_f (obr. 1.2). [2]



Obr. 1.1 Axiální úhel čela γ_p [2]



Obr. 1.2 Radiální úhel čela γ_f [2]

Axiální úhel čela je vztažen k rovině rovnoběžné s osou nástroje, radiální úhel čela je vztažen k rovině kolmé k ose nástroje. Tyto dva základní úhly spolu s úhlem nastavení předurčují frézovací nástroje pro jejich další použití. Rovinné frézování nabízí tři typy geometrií fréz, kterými jsou [2]:

- negativně – negativní,
- pozitivně – pozitivní,
- pozitivně – negativní.

ad a) Frézovací nástroje s touto geometrií jsou určeny pro obrábění ocelí a šedých litin, při nichž dochází k velkému silovému zatížení břitu. Tato geometrie vyžaduje vysoký výkon strojního zařízení z důvodu vzniku velkých řezných sil. Rovněž vznikající tvar a velikost třísek může způsobovat potíže s hlediska zahlcování a ucpávání zubových mezer ve fréze. [2]

ad b) Tato geometrie je charakteristická pro jednostranné typy vyměnitelných břitových destiček a je vhodná pro obrábění tenkostěnných a málo tuhých obrobků a pro strojní zařízení malých výkonů. Ostrá geometrie dobře utváří třísky, avšak při obrábění některých materiálů, např. tvárných ocelí, korozivzdorných ocelí, může docházet k tvorbě nárůstku. [2]

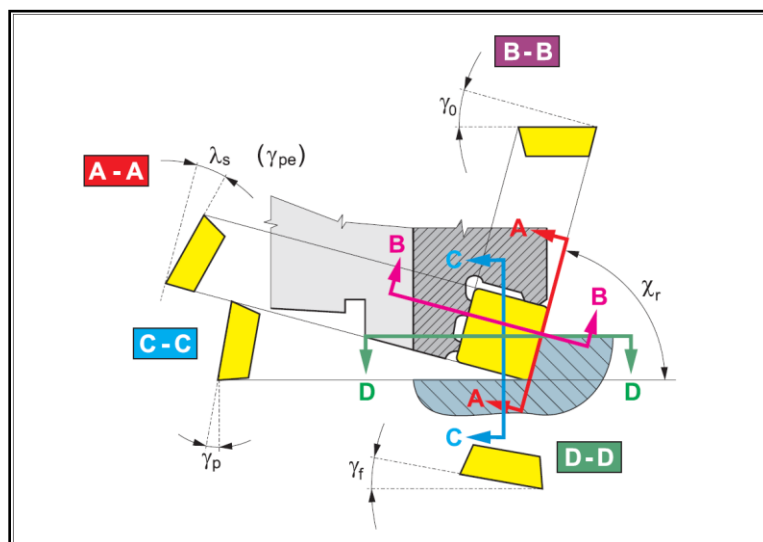
ad c) Frézy s touto geometrií mají z hlediska poměru řezných sil vyšší řezné síly než u pozitivně pozitivních geometrií fréz, na druhou stranu ale nižší než u negativně negativních fréz. Tato geometrie je ideální pro obrábění s vysokými posuvy na zub a pro obrábění při velkých hloubkách řezů. Pozitivní axiální úhel čela má schopnost dobře utvářet třísky, negativní radiální úhel čela přispívá k odolnosti břitu proti lomu. Nástroje s touto geometrií břitu jsou velmi univerzální a s kombinací úhlu nastavení $\kappa_r = 45^\circ$ jsou vhodné pro celou škálu frézovacích operací. [2]

U různých typů fréz s vyměnitelnými břitovými destičkami ze SK se používá různých tvarů a velikostí destiček. Provedení jednotlivých tvarů destiček koresponduje s pracovní geometrií frézovacího nástroje. Kromě samotné geometrie frézy se tedy na pracovní geometrii nástroje rovněž podílí i geometrie vyměnitelné břítové destičky. Tvar destičky ovlivňuje stabilitu ostří, počet zubů dosažitelnou jakost obrobeného povrchu. [2]

Mezi základní tvary destiček z hlediska jejich geometrie, patří destičky negativní, pozitivní a speciální. Negativní destičky mají jednoduchý čtvercový tvar a jsou určeny pro frézy s negativní geometrií. Pozitivní destičky se používají ve frézách s pozitivní geometrií. Speciální destičky mají pozitivní geometrii a jsou navíc opatřeny ještě svou pozitivní geometrií na čele destičky v podobě geometrických ploch s utvařeči třísek. Takto řešený tvar a geometrie destičky je ve výsledku velmi efektivní a projevuje se typickým lehčím řezem v obrobku a menší potřebou výkonu strojního zařízení. Stabilita ostří je zajištěna fazetkami, poloměry špiček a dalšími prvky na destičce. [2]

1.3 Úhly na frézovacím nástroji

Poloha břítové destičky upnuté v tělese nástroje je určena několika úhly (obr. 1.3). [3]



Obr. 1.3 Poloha a úhly břítové destičky upnuté ve fríze [3]

Konstrukční úhly (nástrojové úhly) slouží k základní orientaci polohy lůžka, do kterého je upnuta břitová destička a má význam především pro konstrukci tělesa frézy. Jde o dva úhly, čela axiální úhel čela γ_p (nástrojový zadní úhel čela) a radiální úhel čela γ_f (nástrojový boční úhel čela). [3]

Pracovní (funkční) úhly jsou úhel nastavení κ_r , ortogonální úhel čela γ_o úhel sklonu ostří λ_s . [3]

Ortogonální úhel čela γ_o - má vliv na velikost plastické deformace odřezávané třísky a tudíž na velikost řezné síly a na úroveň řezné teploty. Čím větší je úhel γ_o , tím menší jsou řezné síly a tím menší je i potřebný výkon hnacího motoru frézky a naopak. Zmenšující se úhel γ_o má za následek růst řezné síly i řezné teploty. [3]

Úhel nastavení κ_r - určuje při určitém posuvu na zub f_z a axiální hloubce řezu a_p tloušťku a šířku třísky (délku zabírajícího břitu). Tím ovlivňuje řezné síly, specifické zatížení, opotřebení a trvanlivost břitu. Zmenšující se úhel nastavení κ_r při konstantním posuvu f_z má za následek zmenšení tloušťky třísky h_m . [3]

Úhel sklonu ostří λ_s - spolu s úhlem nastavení κ_r a úhlem čela γ_o určuje místo prvního dotyku břitu s obrobkem při vnikání břitu. Proto má vliv na odolnost břitu vůči křehkému porušení při obrábění přerušovaným řezem obecně. Současně má vliv i na směr odchodu třísky z místa řezu. [3]

2 Nástroje s kruhovými VBD

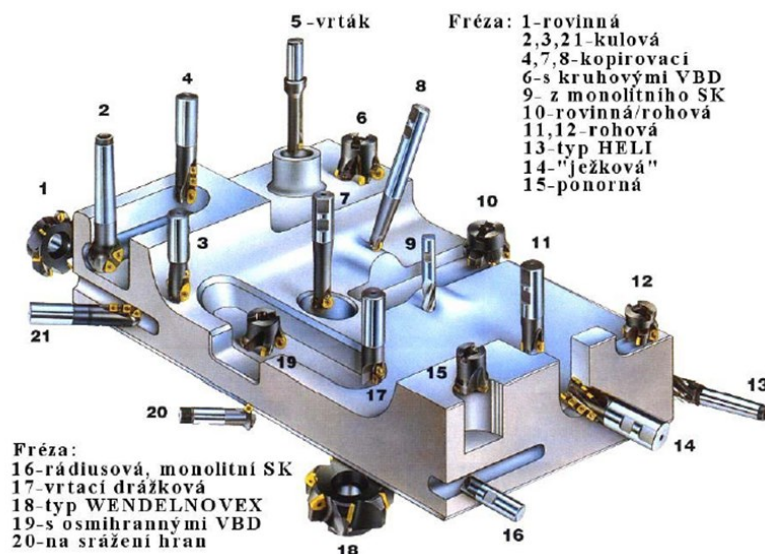
Nástroje – frézy s kruhovými VBD jsou používány v celém spektru metod obrábění. Nejčastější využití tohoto typu nástroje a VBD je tvarové frézování, kopírování a rovinné frézování. Kruhovité destičky se vyznačují schopností obrábět široké spektrum obráběných materiálů – od snadno obrobitelných až po těžce obrobitelné materiály. Své uplatnění nacházejí i při obtížných operacích. Mají více řezných hran než ostatní geometrie a proto je obrábění těmito nástroji s VBD ekonomické.

2.1 Tvarové frézování

Tvarové frézování zahrnuje víceosé frézování konvexních nebo konkávních tvarů ve dvou nebo třech dimenzích. Čím větší je součást a čím komplikovanější je obráběný tvar, tím důležitější se stává přípravný proces. Celý obráběcí proces by měl být rozdělen nejméně na 3 typy operací: [4]

- hrubování / lehké hrubování,
- polodokončování,
- dokončování.

Někdy je nutné použít také superfinišování, které se často provádí s využitím technik vysokorychlostního obrábění. Frézování zbývajících přídavků, tzv. odfrézování zbytkové vrstvy, se skládá z polodokončovacích a dokončovacích operací. Z důvodu dosažení nejvyšší přesnosti a produktivity je doporučeno provádět hrubování a dokončování na samostatných strojích a používat specializované obráběcí nástroje pro každou operaci. Dokončovací operace je třeba provádět na 4/5-ti osých obráběcích strojích s moderním softwarem a technikami programování. To může významně snížit, nebo dokonce zcela eliminovat čas potřebný pro ruční dokončování výrobku. V konečném důsledku bude mít výrobek lepší geometrickou přesnost a vyšší kvalitu struktury povrchu. [4]



Obr. 2.1 Ukázka frézování tvarových ploch [5]

2.2 Trvanlivost břítu VBD a trvanlivost nástroje

Pojmem trvanlivost označujeme dobu trvání řezného procesu, který souvisí s provozuschopným stavem břítu. Je to časový interval, po který je nástroj schopen efektivně plnit požadované funkce. Respektive je to doba mezi nasazením nástroje do řezného procesu a vznikem poruchy, kterou končí provozuschopný stav nástroje. Z technologického hlediska rozlišujeme poruchy nástroje [3]:

- postupná porucha – jedná se o postupnou změnu jednoho nebo více parametrů, jako například opotřebení nástroje,
- náhlá porucha – jedná se o prudkou změnu jednoho nebo více parametrů, jako například vylomení břítu.

Není-li břit schopen plnit stanovené úkoly, znamená to konec trvanlivosti břítu, kde se tato skutečnost projeví na jakosti obrobene plochy, přesnosti rozměrů obrobku a také na utváření třísky. V dnešní době při nasazení moderních řezných nástrojů by se v žádném případě nemělo čekat na takový konec, jako je lom břítu. Po opotřebení se břit vymění dřív, než způsobí přerušení operace, nebo než dojde ke vzniku zmetků. [2]

U produktivity obrábění je nejdůležitější volba správného řezného nástroje. Není však vyloučeno, že i při použití správného nástroje nelze docílit uspokojivé doby trvanlivosti. V průběhu obrábění mohou vznikat vibrace, které jsou vyvolané například nedostatečnou tuhostí držáku nástroje nebo špatným upnutím obrobku. Vibrace způsobují vždy předčasné ukončení trvanlivosti bříty. [2]

2.3 Charakteristika opotřebení bříty nástroje

Opotřebení bříty nástroje je jev, který je nevyhnutelný, avšak není bezpodmínečně negativním jevem. V průběhu obrábění můžeme na bříty pozorovat vznikající základní mechanismy opotřebení [2]:

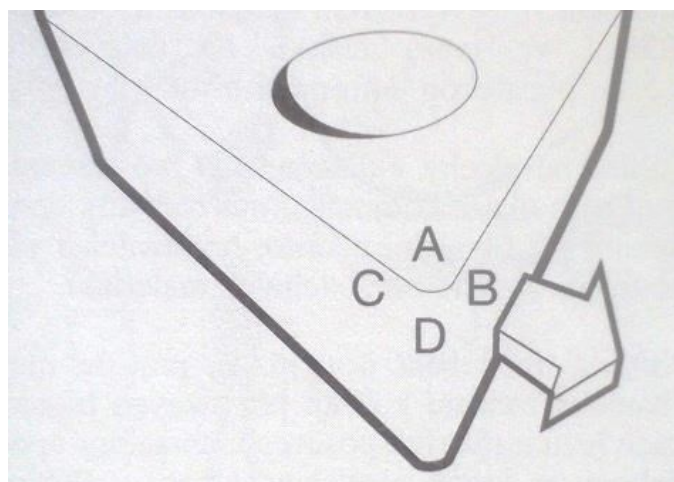
- a) abrazivní opotřebení,
- b) difúzní opotřebení,
- c) oxidační opotřebení,
- d) lom (statický nebo dynamický),
- e) adhezní opotřebení,
- f) plastická deformace.

ad a) Jedná se o rozšířenou formu opotřebení. Vzniká především působením tvrdých částic v materiálu obrobku. Schopnost bříty odolávat tomuto typu opotřebení je z větší části závislá na jeho tvrdosti. Řezný nástrojový materiál, mající hustou strukturu tvrdých částic, bude abrazivnímu opotřebení odolávat dobře. V průběhu obrábění nemusí však odolávat bezpodmínečně i jiným druhům zatížení. [2]

ad b) Vzniká při procesu obrábění za předpokladu působení chemických vlivů. Pro vznik a průběh difúzního opotřebení jsou rozhodujícími činiteli chemické vlastnosti řezného nástrojového materiálu a jeho afinita vůči materiálu obrobku. Zde má tvrdost řezného materiálu jen relativně malý podíl. Rozhodujícími parametry difúzního opotřebení na celkové opotřebení je víceméně chemické složení řezného nástrojového materiálu a materiálu obrobku. [2]

- ad c) U většiny kovů vzniká oxidace v důsledku působení vysokých teplot a okolního vzduchu. Porézní filmy oxidu tvoří wolfram a kobalt a jsou lehce odnášeny třískou. Zatímco jiné oxidy jako například oxid hlinitý jsou podstatně tvrdší a pevnější. K oxidačnímu opotřebení jsou proto některé řezné nástrojové materiály náchylnější, než jiné. [2]
- ad d) Proměnlivé teploty a zatížení řeznými silami mohou způsobit vydrolování a lom řezného nástroje. Příčiny, které vedou k čisté mechanické únavě, mohou být na jedné straně v příliš velké tvrdosti nebo pevnosti materiálu obrobku a ve vysokých posuvech, nebo na druhé straně v příliš tvrdém řezného nástrojového materiálu. Avšak k lomu může dojít i v případě příliš měkkého řezného nástrojového materiálu. [2]
- ad e) Vyskytuje se na čele břitu nástroje především při nízkých teplotách obrábění. Vzniká u ocelí tvořící dlouho třísku, ale i u materiálu s krátkou třískou (např. u oceli, šedé litiny a hliníku). Adhezní opotřebení vede k vytváření nárůstku mezi třískou a břitem. Zvýšení teplot řezání zmenšuje předpoklady pro vznik nárůstku. [2]
- ad f) Vzniká působením kombinace vysokých teplot a řezných tlaků na břit. U řezného nástroje, který odolává plastické deformaci je tvrdost za tepla rozhodujícím faktorem. Typická deformace vyboulení břitu zvyšuje teploty a má za následek změnu geometrie břitu a změny odchodu třísek. Toto opotřebení lze zmenšit použitím vhodného řezného materiálu s vyšší otěruschopností, správného zaoblení ostří a volbou správné geometrie. [2]

Základní oblasti, kde vzniká opotřebení, jsou: čelo (A), hlavní hřbet (B), vedlejší hřbet (C), poloměr špičky (D) a při frézování oblast čelní fazetky. Tyto základní oblasti jsou níže znázorněny na vyměnitelné břitové destičce. [2]



Obr. 2.2 Oblast opotřebení na VBD [2]

2.4 Utváření třísky v místě řezu

Jedná se o funkční zkoušky obrábění, při kterých je jeden z posuzovaných parametrů utváření třísky. Sledování odchodu třísky z obráběného materiálu, probíhá při procesu frézování v místě řezu, následné odebrání třísky a jejího vyhodnocení. Získané třísky je možné seřadit podle parametrů řezných podmínek, tzn. podle axiální hloubky řezu a_p a posuvu na zub f_z . Z takto uspořádaných třísek je možné získat přehledný „diagram“ utváření třísek.

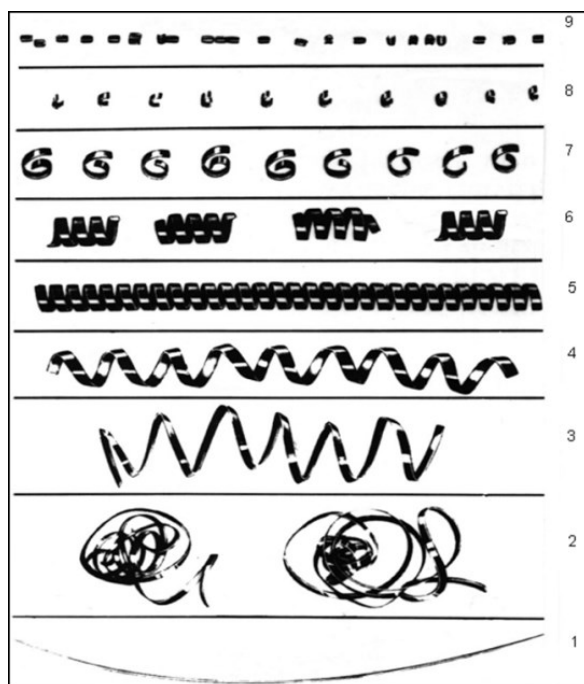
2.5 Charakteristika třísky

Tříška je deformovaná odřezávaná vrstva materiálu z obrobku. Při vnikání řezného klínu do obráběného materiálu se tento materiál nejprve pružně a potom plasticky deformuje, klade odpor proti vnikání řezného klínu [6].

Odvod a tvar třísky z obráběného materiálu závisí na: [6]

- řezných podmínkách (rychlost řezání a posuvu),
- materiálu nástroje (řezivost),
- vlastnosti obráběného materiálu – obrobitelnost,
- tvar břitu a vhodná geometrie nástroje. [6]

Třísky má také za úkol odvádět teplo z místa řezu, což ovlivňuje trvanlivost nástroje. V procesu obrábění se utvářejí a následně oddělují různé typy třísek, které se charakterizují a zařazují dle daných řezných podmínek. Třísky, jejich tvar a vzhled lze řadit podle různých hledisek, např. výrobce nástrojů SECO Tools [7], třídí třísky do devíti skupin (obr. 2.3). Skupina 1 až 5 představuje nevyhovující tvary třísek, skupina 6 až 9 vyhovující tvary třísek. Jiný pohled na charakteristiku třísky, tedy vzhled, tvar a členitost představuje členění na obr. 2.4. [8].



Obr. 2.3 Zařazení třísek podle skupiny Seco Tools [7]



Obr. 2.4 Základní druhy tváření třísek při obrábění [8]

- a) plynulá článkovitá soudržná tříska;
- b) plynulá soudržná lamelová tříska;
- c) tvářená elementární tříska;
- d) nepravidelně článkovitá plynulá tříska;
- e) tvářená plynulá soudržná tříska;
- f) dělená segmentová tříska;
- g) plynulá segmentová tříska

Třísky rozlišujeme na trhané a stříhané. Trhané (drobivé) třísky vzniká při obrábění tvrdých a křehkých materiálů. Tříska odchází ve tvaru nepravidelných úlomků, šupin. Při tvorbě tohoto typu třísek je možné očekávat zhoršenou kvalitu obráběného povrchu. [6]

Stříhané třísky zařazujeme dle plastičnosti: [6]

- Plynulá tříska – nejobvyklejší druh třísky, tvoří se při obrábění tvárných materiálů.
 - Stupňovitá tříska – liší se svým tvarem a velikostí, vzniká při obrábění tvrdých a tvárných materiálů.
 - Elementární tříska – odstříhnuté částice od sebe snadno odlišitelné.
- [6]

2.6 Kvalita obrobené plochy

Při dobře zvolených řezných podmínkách, geometrii nástroje i VBD a také dobře obrobitelnému materiálu, lze očekávat dobrou kvalitu obrobené plochy. Parametry drsnosti povrchu jsou jednou ze sledovaných veličin obrobené plochy po odvodu třísky z místa obrábění. Tato veličina lze měřit např. přenosným drsnoměrem Hommel etamic (obr. 2.5), který má nastavenou dráhu měření. Toto zařízení umožňuje záznam měření a měří ve dvou parametrech R_a a R_z . R_a je parametr aritmetického průměru měřených hodnot. Pro naše testy je směrodatný parametr R_z , která zaznamenává velikost největší odchylky na měřeném povrchu.



Obr. 2.5 Přenosný drsnoměr Hommel Etamic

2.7 Zatížení vřetene obráběcího stroje

Úkolem vřetena je zaručit obrobku nebo nástroji (u frézky, vrtačky, brusky) přesný otáčivý pohyb – odchylku bodů obrobku či nástroje v přípustné toleranci. Vřeteno představuje velmi důležitý prvek ve skladbě obráběcích strojů, a proto jsou na konstrukční provedení kladeny náročné požadavky.

- přesnost chodu – je určena velikost tzv. radiálního a axiálního házení,
- dokonalé vedení – vřeteno nesmí měnit polohu v prostoru, mění-li jeho zatížení směr a smysl,
- v uložení vřetena musí být možno vymezovat vůli vzniklou opotřebením,
- ztráty v uložení vřetena musí být co nejmenší (účinnost, oteplování a tepelné dilatace, změna polohy funkce),
- vřeteno musí být tuhé – jeho deformace spolu s přesností chodu má rozhodující vliv na přesnost práce obráběcího stroje.

Zatížení vřetene je vyjádřeno v procentech při úplném zatížení stroje. Má vliv na přenos tepla do třísky, tím může ovlivnit jakost obrobené plochy. Správné upnutí upínacího kužele do frézky a jeho tuhost, má vliv na ekonomickém chodu stroje a kvalitě obrobené plochy. Při nekvalitním upnutí může dojít k poškození nástroje, vibracím a znehodnocení obráběného materiálu.

2.8 Rozdělení obráběných materiálů

Pro optimální volbu obráběcího nástroje a startovních řezných podmínek je důležitá identifikace obráběného materiálu. Pro zjednodušení rozdělujeme obráběné materiály v souladu s normou ISO 513 do šesti základních skupin, v nichž jsou sdružovány materiály, které se vyznačují stejným typem zatížení (namáhání) břitů a podobným typ opotřebením. [3] Obráběné materiály se rozlišují velkým písmenem (P, M, K, N, S, H) a příslušnou barvou. Rozdělení obráběných materiálů dle ISO 513 je uvedeno v tab. 2.1.

Tab. 2.1 Rozdělení obráběných materiálů dle ISO 513 [3]

Skupina	Definice podskupiny
P	<ul style="list-style-type: none"> - Oceli a ocelolitiny s velmi dobrou (zlepšenou) obrobitelností, automatové a nízkouhlikové oceli - Nelegované a nízkolegované ocelolitiny a oceli se středním obsahem uhlíku ($0,25 < C < 0,55$) s pevností do 900 MPa a tvrdostí v rozsahu 160-255 HB - Hůře obrobitelné nelegované a nízkolegované ocelolitiny a oceli se středním obsahem uhlíku s pevností do 1000 MPa a tvrdostí do 300 HB - Středně až vysoce legované ocelolitiny a oceli (většinou s obsahem uhlíku $0,55 < C$), pevnost do 1270 MPa a tvrdost do 375HB resp. 40 HRC)
M	<ul style="list-style-type: none"> - Feritické korozivzdorné oceli - Martenzitické korozivzdorné oceli - Austenitické korozivzdorné oceli - Feriticko - austenitické (duplexní) a superaustenitické korozivzdorné oceli
K	<ul style="list-style-type: none"> - Šedé litiny - Temperované litiny - Tvárné litiny feritické a feriticko-perlitické - Tvárné litiny perliticko-feritické, perliticko- sorbitické a perlitické
N	<ul style="list-style-type: none"> - Hliník a jeho měkké slitiny Al (s nízkým obsahem Si) zejména tvářené a lité (nevytvrzené), tvrdost do 100 HB - Tvrdé slitiny Al, zejména lité vytvrzené (s vysokým obsahem Si) - Měkké slitiny Cu automatová mosaz a ostatní měkké mosazi a bronzы - Hůře obrobitelné a tvrdé slitiny Cu
S	<ul style="list-style-type: none"> - Technicky čistý Ti, slitiny a, a+b a b slitiny zušlechtěné a stárnuté - Slitiny na bázi Fe - Slitiny na bázi Ni - Slitiny na bázi Co
H	<ul style="list-style-type: none"> - Vysoce pevné a tvrdé nástrojové oceli a kalené a zušlechtěné oceli o tvrdosti 40-50 HRC - Tvrzená a bílá litina 350-600 HV - Kalené a zušlechtěné oceli o tvrdosti v rozmezí 50-55 HRC - Kalené a zušlechtěné (převážně nástrojové) oceli o tvrdosti vyšší než 55 HRC

3 Představení sortimentů nástrojů s kruhovými VBD

3.1 Společnost Pramet Tools s.r.o.

Dlouholetý tuzemský výrobce VBD ze SK na celosvětovém trhu. Výroba nástrojů byla rozšířena až spojením s firmou Dormer. Široký a variabilní sortiment nástrojů a VBD, zajišťuje zákazníkům řešení obrábění v různých podmínkách a použití různých materiálů. Vybraný sortiment nástrojů řady SMORC (obr. 3.1) je konstruován ve třech typech provedení. Nástrčné frézy, stopkové frézy a modulární hlavičky. Z hlediska geometrií VBD se jedná o tři geometrie (-F, -M, -R).



Obr. 3.1 Sortiment nástrojů řady SMORC - Pramet

Nástrčné frézy jsou zhotoveny z legované oceli ČSN 16 340 s tvrdostí $41 \div 44$ HRC. Stopkové frézy a modulární hlavičky jsou vyrobeny z nástrojové oceli ČSN 19 552 s tvrdostí $44 \div 46$ HRC. U stopkových fréz je předpoklad, že budou v sortimentu nabízeny v různých délkách. Modulární hlavičky mají vysokou variabilnost z hlediska možnosti velkého vyložení při použití příslušného typu upínače. Nástroje jsou standardně vyráběny s kanálky pro přívod procesních kapalin. Povrchová úprava niklování zaručuje nástrojům vyšší oteruvzdornost proti odchozím třískám. Balení nástrojů je do ekologických obalů. Součástí balení je upínací klíč.

Sortiment VBD s označením RCMT 10 je zaměřen na tři různé geometrie (-F, -M, -R). VBD jsou vyrobeny přímým lisováním (bez obvodového broušení). Na hřbetu VBD jsou dosedací plošky pro stabilnější upnutí v lůžku frézy. Zajištění VBD v lůžku je pomocí šroubu. Dosedací plocha je broušená před povlakem. VBD má pro každou geometrii jinou velikost zaoblení řezné hrany a jinou velikost fazetky, která má zabránit předčasnému vylomení břitu. VBD jsou povlakovány PVD (případně CVD) povlakem. Povlak PVD se vyznačuje malou tloušťkou, vysokou otěruvzdorností a vyšší trvanlivostí. VBD jsou baleny po 10 ks do plastových krabiček opatřených štítkem s doporučenými řeznými podmínkami.

3.2 Výrobce č. 1

Výrobce č. 1 založen v roce 1938 v USA. Tato firma se zaměřuje především na letecký a kosmický průmysl. Působí v 60 zemích celého světa a nabízí celou škálu nejmodernějších obráběcích nástrojů. Patří mezi světové lídry v oboru s obráběcími nástroji. V roce 2014 dokončil výrobce č. 1 akvizici s firmou ATI Stellram. [9]



Obr. 3.2 Sortiment nástrojů řady 7713VR10 – výrobce č. 1

Vybraný sortiment nástrojů řady 7713VR10 (obr. 3.2) je konstruován ve třech typech provedení. Nástrčné frézy, stopkové frézy a modulární hlavičky. Z hlediska geometrií VBD s označením RPHT 10, RPMT 10 a RPMW 10 jsou tyto nabízeny v geometriích s označením -421-X4, -41-X4, -422-X4 a -X4. Jednotlivé geometrie mají přímou návaznost na tradiční značení systému geometrií (-F, -M, -R) a liší se pouze v provedení řezné hrany, velikostí fazetky a utvařečů. Každá geometrie je určena pro jinou funkci – obráběný materiál. Konstrukce a geometrie těchto nástrojů je blízká společnosti Pramet Tools s.r.o. Upínání VBD do lůžek fréz je opět pomocí šroubku. Stopková fréza a modulární hlavička má povrchovou úpravu niklování. Nástrčná fréza oxidační vrstvu černěním. Nástroje jsou vybaveny kanálky pro přívod procesní kapaliny. Balení nástrojů výrobce č. 1 zvolil do PVC krabiček. Součástí balení nástroje je upínací klíč. Jednotlivé VBD jsou po obvodu opatřeny systémem zámků pro stabilnější upevnění do lůžka frézy. Materiály VBD jsou zastoupeny jednak s povlaky na bázi PVD, ale i CVD. Balení VBD je standardní po 10 ks do plastové krabičky. Krabička je olepena štítkem s řeznými podmínkami.

3.3 Výrobce č. 2

Firma založená v roce 1916 v Jižní Korei. [10] Je označována za nejnovativnějšího výrobce v oblasti obrábění. Výběr tohoto výrobce pro testy je strategický z hlediska konkurenceschopnosti sortimentu Pramet.



Obr. 3.3 Sortiment nástrojů řady CHASEMOLD – výrobce č.2

Od výrobce č. 2 byl vytipován sortiment nástrojů s označením CHASEMOLD (obr. 3.3). Opět i tento sortiment nabízí stopkové frézy, modulární hlavičky a nástrčné frézy. Všechna tělesa fréz jsou vybavena kanálky pro přívod procesní kapaliny. Upínání VBD do lůžka je pomocí šroubů. Povrchová úprava niklováním pro zaručení vyšší otěruvzdornosti nástroje jsou baleny do plastových boxů, jejíž součástí je i upínací klíč.

Použitým typem VBD pro tyto nástroje je kruhová destička o průměru 10 mm s označením RYMX 10. Patentovaný systém zámků na obvodě - hřbetě VBD zaručuje pevné a stabilní upnutí VBD v lůžku. Zaoblení řezné hrany má za úkol zvýšit trvanlivost bříty a obvodová fazetka zabrání předčasnému vylomení bříty. Povlak PVD (CVD) dodá VBD požadované finální vlastnosti.

4 Návrh experimentálních činností

Cílem této práce je provést porovnání fréz a kruhových VBD dvou vybraných výrobců s výchozí frézou a VBD společnosti Pramet Tools s.r.o. K porovnání byly provedeny dvě základní porovnávací metody.

1. Funkční zkoušky obrábění (při zvoleném rozsahu řezných podmínek). Tyto zkoušky byly provedeny na zkušebně obrábění společnosti Pramet Tools s.r.o., která je vybavena vhodným strojním zařízením. Zkušební materiál byla použita uhlíková ocel ČSN 12 050.1. Hodnoty sledovaných a vyhodnocovaných parametrů - parametry drsnosti R_a a R_z , zatížení vřetene, charakteristika třísky - jsou uvedeny v tabulkách níže.
2. Zkoušky obrábění na stanovení trvanlivosti (při definovaných řezných podmínkách). U této zkoušky byla použita uhlíková ocel ČSN 12 050.9. Sledovaným parametrem u této zkoušky je opotřebení na hřbetu VBD – parametr VB_B v závislosti na čase.

4.1 Volba nástrojů

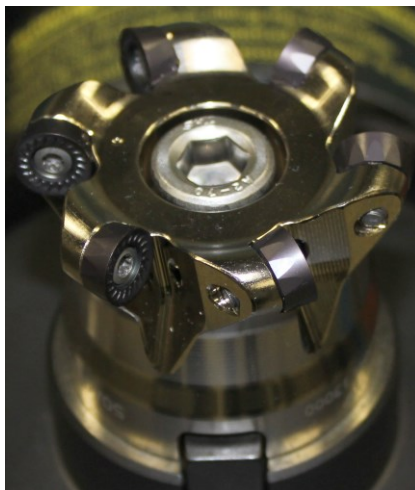
Pro experimentální testy byly z každého sortimentu vybrány pouze nástrčné frézy průměru $D = 50$ mm (6 zubů). Základní parametry fréz a VBD jsou uvedeny v tabulce 4.1

Tab. 4.1 Základní parametry vybraných fréz a VBD ke zkouškám [9, 10]

Výrobce	Označení frézy	Geometrie (γ_p/γ_f) (°)	Označení VBD (ISO)
Pramet Tools s.r.o.	50A06R-SMORC10-C-P01	-6°/-2°	RCMT 10T3MOSN-M; M8310 RCMT 10T3MOSN-M; M8340
Výrobce č. 1	7713VR10-A050Z06R	+3°/-5°	RPHT 10T3MOT-X4; SP6519
Výrobce č. 2	TFMRY 650-22R-10	+3°/+5°	RYMX 1004-M; TT7800 RYMX 1004-M; TT9080

4.1.1 Společnost Pramet Tools s.r.o.

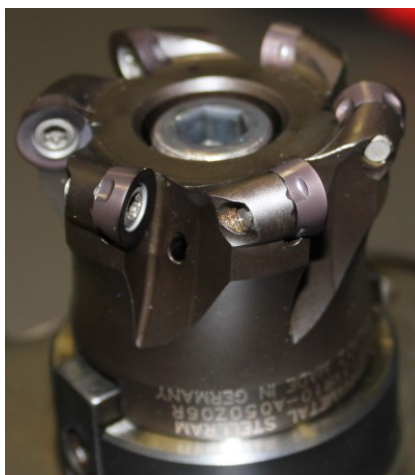
Pro testy byla zvolena nástrčná fréza označena dle ISO **50A06R-SMORC10-C-P01** (obr. 4.1). Tato fréza má řezný průměr $D = 50$ mm a je určena pro osazení 6ti kruhovými destičkami typu RCMT 10. Geometrie frézy je negativně negativní (-/-).



Obr. 4.1 Nástrčná fréza ISO **50A06R-SMORC10-C-P01**

4.1.2 Výrobce č. 1

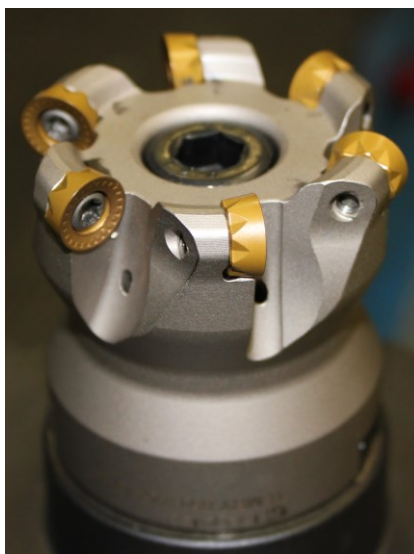
Nástrčná fréza s označením **7713VR10-A050Z06R** (obr. 4.2). Řezný průměr nástroje je opět $D = 50$ mm. Osazení je 6ti VBD upnutými v lůžku šroubky. Geometrie frézy je pozitivně negativní (+/-).



Obr. 4.2 Nástrčná fréza **7713VR10-A050Z06R**

4.1.3 Výrobce č. 2

Nástrčná fréza s označením **TFMRY 650-22R-10** (obr. 4.3). Řezný průměr nástroje je opět $D = 50$ mm. Osazení je 6ti VBD upnutými v lůžku šroubky. Geometrie frézy je pozitivně pozitivní (+/+).



Obr. 4.3 Nástrčná fréza **TFMRY 650-22R-10**

Tab. 4.2 Parametry porovnávaných nástrojů

Výrobce	Pramet Tools s.r.o.	Výrobce č. 1	Výrobce č. 2
Označení frézy	50A06R-SMORC10-C-P01	7713VR10-A050Z06R	TFMRY 650-22R-10
Název parametru	Naměřené hodnoty		
Řezný průměr D (mm)	49,969	50,024	50,034
Upínací otvor d (mm)	22,008	22,001	22,010
Výška frézy H (mm)	40,011	39,957	50,040
Čelní házivost ARO (mm)	0,007	0,007	0,005
Obvodová házivost RRO (mm)	0,011	0,008	0,028
Axiální úhel γ_p (°)	-6°46′	+3°49′	+3°01′
Radiální úhel γ_f (°)	-2°03′	+5°10′	-5°48′
Tvrдость podle Rockwella (HRC)	42 ÷ 44	42	46 ÷ 47
Označení VBD (ISO)	RCMT 10T3MOSN-M-P01	RPHT10T3M OT-X4	RYMX 1004-M

4.2 Volba obráběného materiálu

Funkční zkoušky obrábění byly provedeny na uhlíkové oceli ČSN 12 050.1 o rozměrech polotovaru (výška 300 mm, šířka 300 mm, hloubka 100 mm). Zkoušky obrábění na stanovení trvanlivosti byla použita uhlíková ocel ČSN 12 050.9 o rozměrech polotovaru (výška 300 mm, šířka 800 mm, hloubka 100 mm). Obě výše jmenované oceli se navzájem liší v doplňkové číslici (1 – normalizačně žíhaná; 9 – podle zvláštních ujednání). V tabulce 4.3 je uvedeno chemické složení uhlíkové oceli ČSN 12 050 (C45). Mechanické vlastnosti oceli jsou uvedeny v tabulce 4.4.

Tab. 4.3 Chemické složení oceli 12 050 (C45) [11]

Chemické složení (%)							
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu
0,420	0,500	0,170	max.	max.	max.	max.	max.
-	-	-	-	-	-	-	-
0,500	0,800	0,370	0,040	0,040	0,250	0,300	0,300

Tab. 4.4 Mechanické vlastnosti oceli 12 050 (C45) [11]

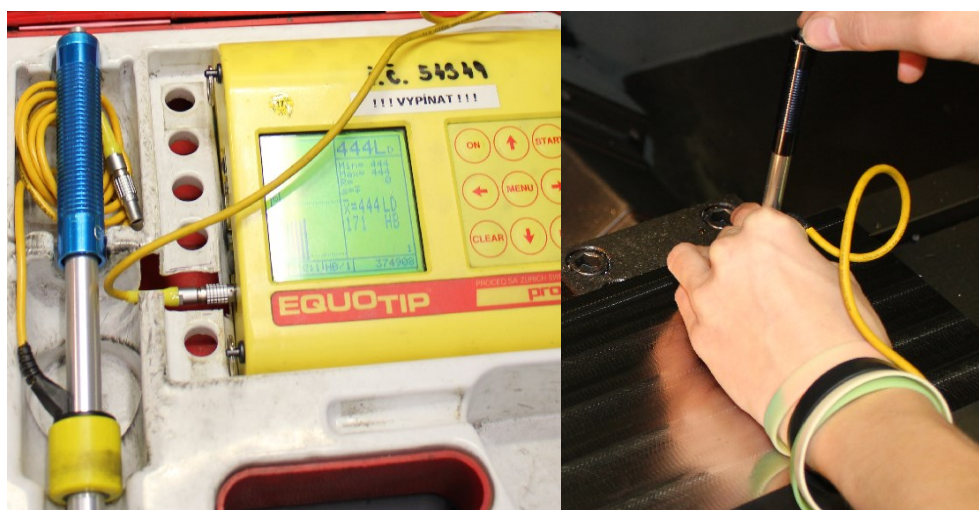
Mechanické vlastnosti	Provedení
	Tepelně nezpracované
Pevnost v tahu R_m (MPa)	640 ÷ 780
Mez kluzu R_e (MPa)	390
Tažnost A_{10} (%)	20

Měření tvrdosti obráběného materiálu

Měření tvrdosti bylo provedeno na třech různých místech tvrdoměrem EQUOTIP. Průměrná hodnota naměřených hodnot tvrdosti byla 171 HB. Parametr tvrdosti patří mezi měřené veličiny, kdy se přesnost naměřené hodnoty zvyšuje s počtem měření. Minimální počet měření se udává 3. Základní technická data tvrdoměru EQUOTIP jsou uvedena v tabulce 4.5. Měření tvrdosti je uvedeno na obrázku 4.4.

Tab. 4.5 Technická data tvrdoměru EQUOTIP [12]

Název celku	Jednotka	Velikost
Rozsahy měření pro oceli	HB	80 ÷ 650
	HV	80 ÷ 940
	HRC	20 ÷ 68
Hliníková slévárenská slitina	HB	30 ÷ 160
Litina	HB	90 ÷ 380
Mosaz	HB	40 ÷ 170
Měděné slitiny k tváření	HB	45 ÷ 315



Obr. 4.4 Měření tvrdosti tvrdoměrem EQUOTIP

4.3 Volba stroje

Zkoušky obrábění byly provedeny ve zkušebně společnosti Pramet Tools s.r.o., která je vybavena frézovacím CNC centrem MCV1270 Power výrobce Kovosvit MAS, Sezimovo Ústí (obr. 4.5). Technické parametry centra MCV 1270 Power jsou uvedeny v tabulce 4.6.



Obr. 4.5 CNC centrum MCV1270 Power

Tab. 4.6 Technické parametry CNC centra MCV 1270 Power [7]

Název celku	Jednotka	Velikost
Stůl		
Upínací plocha stolu	mm	1500 x 670
Maximální zatížení stolu	kg	1200
Pracovní rozsah		
Osa X-Y-Z	mm	1270-610-720
Stroj		
Délka x šířka x výška	mm	5000 x 3600 x 3330
Výkon motoru S1/S6–25 % (40 %)	kW	ISO 50 (28/43)
Maximální otáčky vřetena	ot/min	8000
Počet míst v zásobníku	ks	ISO 50 (24/40)

4.4 Funkční zkoušky obrábění

Funkční zkoušky obrábění si kladou za cíl prvotní ověření funkčnosti nástrojů v reálných řezných podmínkách s cílem analyzovat:

- utváření třísky v místě řezu při různých axiálních hloubkách řezu a_p ,
- tvar a velikost třísky obráběného materiálu - charakteristika třísek,
- jakost obrobené plochy - R_a a R_z ,
- zatížení vřetene stroje v %.

4.4.1 Volba řezných podmínek při obrábění oceli ČSN 12 050.1

V tabulce 4.7 jsou uvedeny reálně zvolené řezné podmínky, které byly použity pro funkční testy.

Tab. 4.7 Řezné podmínky funkčních zkoušek obrábění na oceli ČSN 12 050.1

Název		Hodnota		
Axiální hloubka řezu		$a_p = 1,0; 2,5 \text{ mm}$		
Radiální hloubka řezu		$a_e = 30 \text{ mm}$		
Průměr frézy		$D = 50 \text{ mm}$		
Počet zubů		$z = 6$		
Efektivní průměr frézy		$D_{\text{ef}} = 46; 48,66 \text{ mm}$		
Řezná rychlost		$v_c = 220 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$		
Otáčky vřetene stroje		$n = 1523; 1440 \text{ min}^{-1}$		
Výrobce	Označení frézy a VBD	Posuv f_z (mm)	Posuv f_{min} (mm · min ⁻¹)	
PRAMET Tools s.r.o.	50A06R-SMORC10-C-P01 RCMT 10T3MOSN-M-P01; M8310	0,10 0,20 0,30 0,40	914; 864	
Výrobce č.1	7713VR10-A050Z06R RPHT 10T3MOT-X4;SP6519		1828; 1728	
Výrobce č.2	TFMRY 650-22R-10 RYMX 1004-M; TT7800		2742; 2592	
			3655; 3456	

4.5 Zkoušky obrábění na stanovení trvanlivosti

Zkoušky obrábění na stanovení trvanlivosti jsou normované. V průběhu obrábění, jsou destičky po určitém časovém intervalu proměřovány. Na hřbetě i čele VBD je optickým mikroskopem změřeno opotřebení VBD za určitý časový interval. Ten je dán délkou obráběné plochy obrobku (tzn. délka dráhy průjezd nástroje). Při každém měření je pořízen snímek - fotografie opotřebené části destičky. Kritériem opotřebení a tedy i trvanlivosti břitu podle normy ČSN-ISO 8688-1 je dosažení max. hodnoty opotřebení na hřbetě $VB_B = 0,3 \text{ mm}$. [14]

4.5.1 Volba řezných podmínek při obrábění oceli ČSN 12 050.9

Cílem zkoušek obrábění na stanovení trvanlivosti, je získat skutečné hodnoty o trvanlivosti břitu při definovaných řezných podmínkách. Řezné podmínky pro obrábění uhlíkové oceli ČSN 12 050.9 jsou uvedeny v tab. 4.8.

Tab. 4.8 Řezné podmínky pro uhlíkovou ocel ČSN 12 050.9

Název	Hodnota
Řezná rychlost	$v_c = 260 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
Otáčky vřetene	$n = 1701 \text{ min}^{-1}$
Posuv na zub	$f_z = 0,25 \text{ mm}$
Posuv	$f = 425 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$
Axiální hloubka řezu	$a_p = 2,5 \text{ mm}$
Radiální hloubka řezu	$a_e = 30 \text{ mm}$
<i>Procesní kapalina</i>	<i>ne</i>
Výrobce	Označení frézy a VBD
PRAMET Tools s.r.o.	50A06R-SMORC10-C-P01 RCMT 10T3MOSN-M-P01;M8340
Výrobce č.1	7713VR10-A050Z06R RPHT 10T3MOT-X4;SP6519
Výrobce č.2	TFMRY 650-22R-10 RYMX 1004-M; TT9080

5 Vyhodnocení zkoušek obrábění

Vyhodnocení experimentálních zkoušek obrábění je rozděleno do dvou částí – na funkční zkoušky obrábění (kapitola 5.1) a zkoušky obrábění na stanovení trvanlivosti (kapitola 5.2).

U obou zkoušek byly dodrženy navržené řezné podmínky, prostředí a obráběný materiál. Vyhodnocení bylo provedeno na základě průběhu opotřebení nástroje a zvoleného kritéria opotřebení. Pro měření opotřebení byla použita přímá mikroskopická metoda měření. Ke každé naměřené hodnotě byla pořízena fotografická dokumentace v daném času pro danou měřenou VBD. Záznamy o opotřebení VBD v daném čase je v tabulce ...

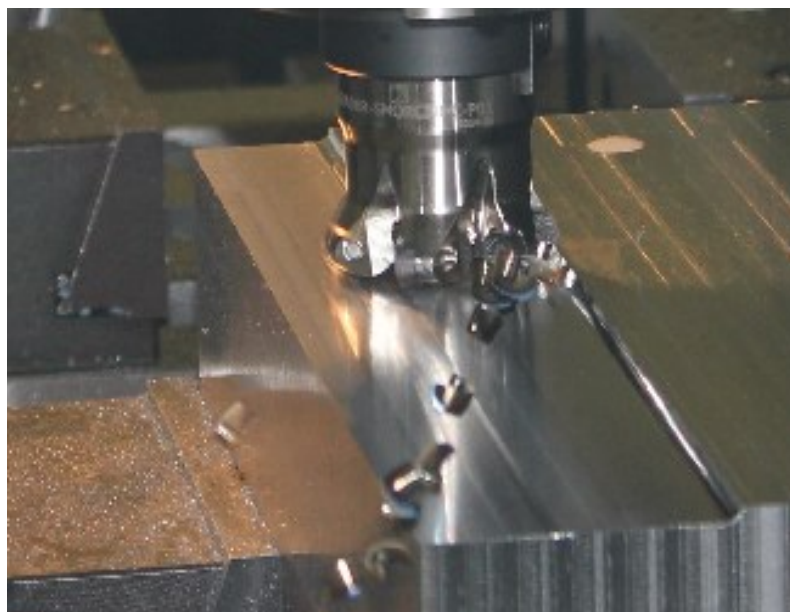
5.1 Funkční zkoušky obrábění

5.1.1 Utváření třísky v místě řezu

Na obrázku 5.1 je znázorněno praktické utváření třísky na uhlíkové oceli ČSN 12 050.1 při dodržení následujících bodů, tj.:

- dodržení zvolených řezných podmínek,
- testy byly provedeny v souladu s doporučením výrobce minimálního a maximálního posuvu na zub,

Utváření třísek je zaznamenáno v utvářecím diagramu třísky a je vytvořen pro každého výrobce zvlášť a také pro každou testovanou geometrii VBD. Utvářecí digramy jsou uvedeny v Přílohách č. 1, č. 2 a č. 3.



Obr. 5.1 Tvoření třísky nástrojem Pramet na uhlíkové oceli ČSN 12 050.1

5.1.2 Charakteristika třísky

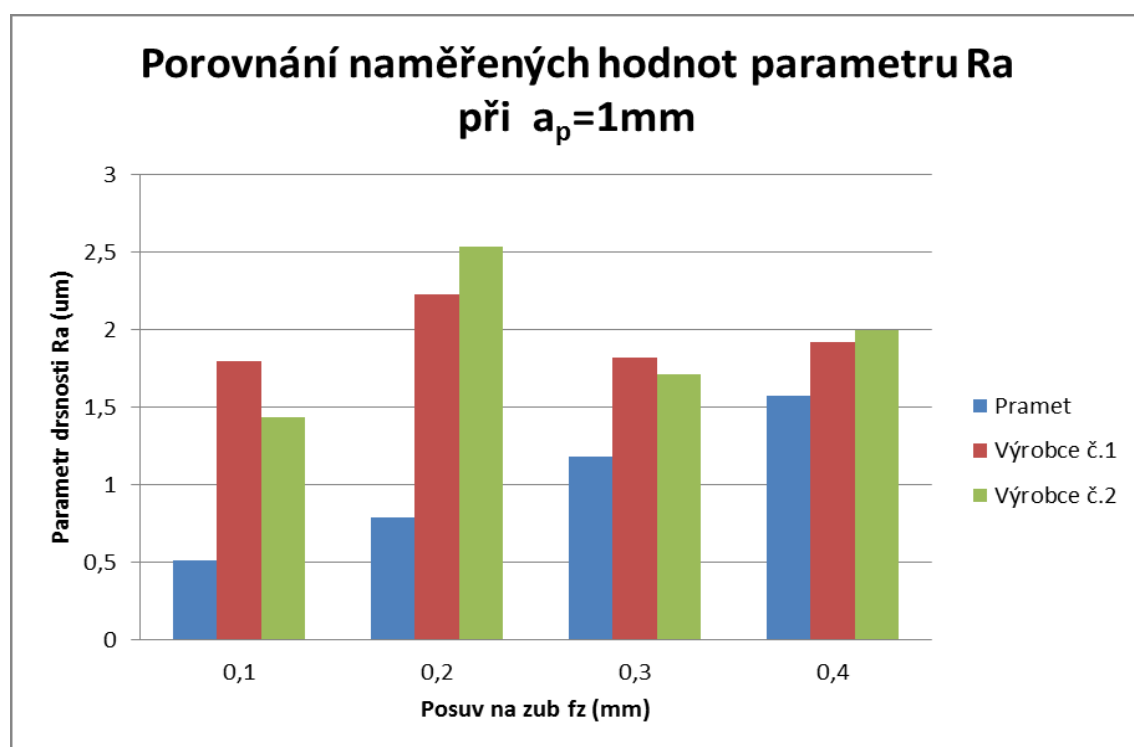
Výsledky řezné zkoušky z hlediska charakteristiky třísky (kapitola 2.5) jsou následující. Tvary třísek vzniklé při obrábění s nástroji Pramet Tools s.r.o. (Příloha č. 1), s nástroji Výrobce č. 1 (Příloha č. 2) a nástroji Výrobce č. 2 (Příloha č. 3), které byly získány při funkčních zkouškách obrábění dle řezných podmínek uvedených v tabulce 4.7, je možné použít členění firmy Seco Tools AB do skupin číslo 8 a 9. Z hlediska základního druhu třísky dle obrázku 2.4, jsou všechny třísky označeny (obr. 2.4, písmeno a).

5.1.3 Kvalita obrobené plochy

Kvalita obrobené plochy byla měřena dle kapitoly 2.6. Měření bylo provedeno při axiální hloubce řezu $a_p = 1 \text{ mm}$ a $a_p = 2,5 \text{ mm}$ a to vždy po obrobení celé jedné ploše obrobku na třech místech. Dosažené hodnoty parametru drsnosti R_a jsou uvedeny v tabulkách 5.1 a 5.2, parametru drsnosti R_z tabulkách 5.3 a 5.4. Pro přehlednost a snadnější odečet náměrů je pro každou tabulku vykreslený graf.

Tab. 5.1 Naměřené hodnoty parametru R_a při funkčních zkouškách obrábění při $a_p = 1 \text{ mm}$ na uhlíkové oceli ČSN 12 050.1

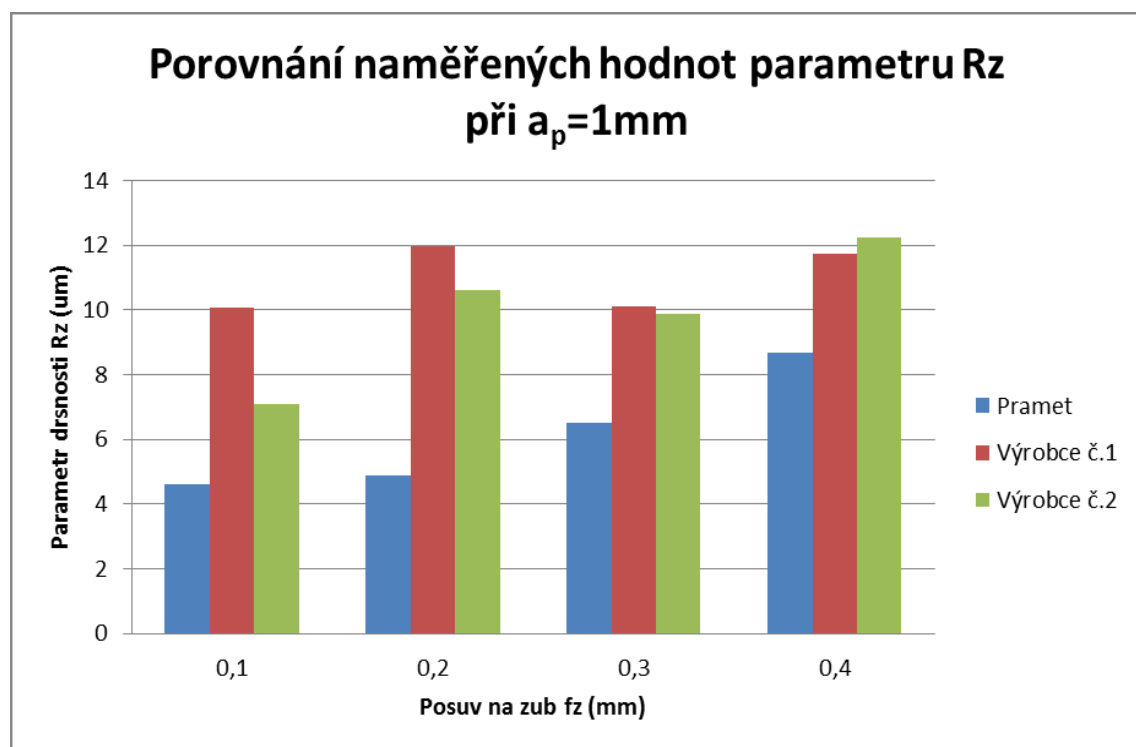
Posuv na zub f_z (mm)		0,1	0,2	0,3	0,4
Výrobce	Označení frézy Označení VBD	Parametr drsnosti R_a (μm)			
Pramet Tools s.r.o.	50A06R-SMORC10-C-P01 RCMT 10T3MOSN-M-P01; M8310	0,507	0,788	1,180	1,573
Výrobce č. 1	7713VR10-A050Z06R RPHT 10T3MOT-X4; SP6519	1,797	2,225	1,820	1,917
Výrobce č. 2	TFMRY 650-22R-10 RYMX 1004-M; TT7800	1,431	2,536	1,714	1,994



Graf 5.1 Grafické porovnání naměřených hodnot parametru R_a při hloubce řezu $a_p = 1 \text{ mm}$

Tab. 5.2 Naměřené hodnoty parametru R_z při funkčních zkouškách obrábění při $a_p = 1 \text{ mm}$ na uhlíkové oceli ČSN 12 050.1

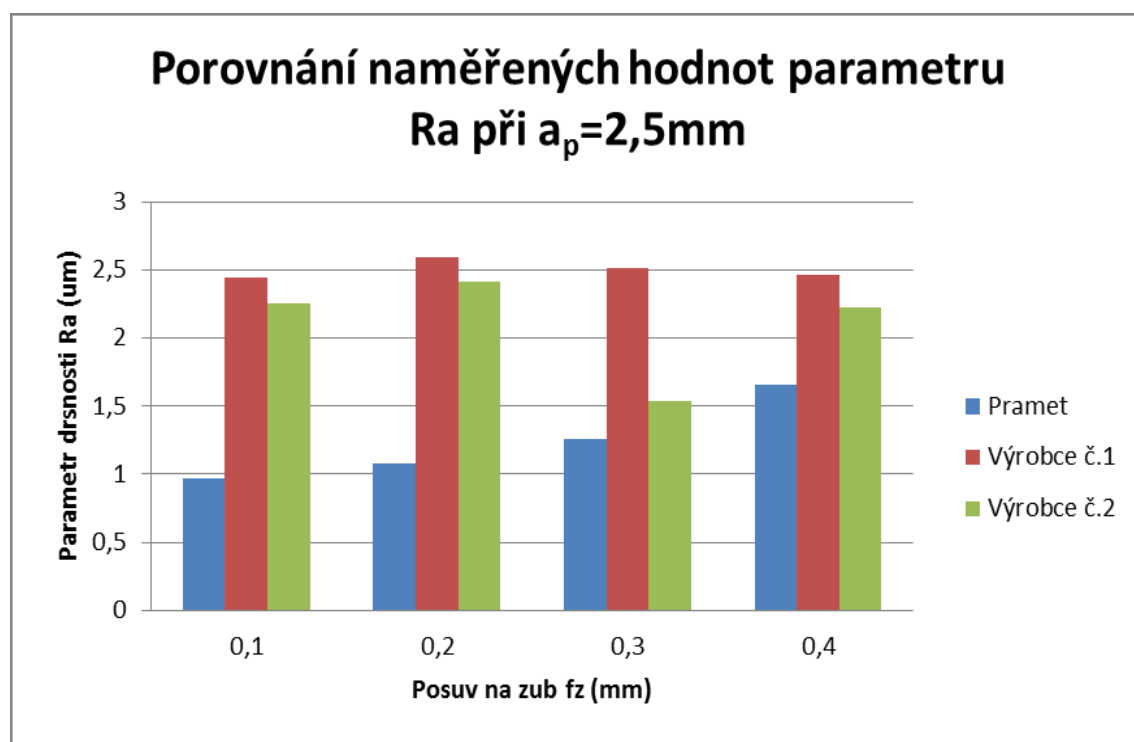
Posuv na zub f_z (mm)		0,1	0,2	0,3	0,4
Výrobce	Označení frézy Označení VBD	Parametr drsnosti R_z (μm)			
Pramet Tools s.r.o.	50A06R-SMORC10-C-P01 RCMT 10T3MOSN-M-P01; M8310	4,626	4,864	6,508	8,663
Výrobce č.1	7713VR10-A050Z06R RPHT 10T3MOT-X4; SP6519	10,062	11,977	10,119	11,745
Výrobce č.2	TFMRY 650-22R-10 RYMX 1004-M; TT7800	7,097	10,610	9,893	12,219



Graf 5.2 Grafické porovnání naměřených hodnot parametru R_z při hloubce řezu $a_p = 1 \text{ mm}$

Tab. 5.3 Naměřené hodnoty parametru R_a při funkčních zkouškách obrábění při $a_p = 2,5$ mm na uhlíkové oceli ČSN 12 050.1

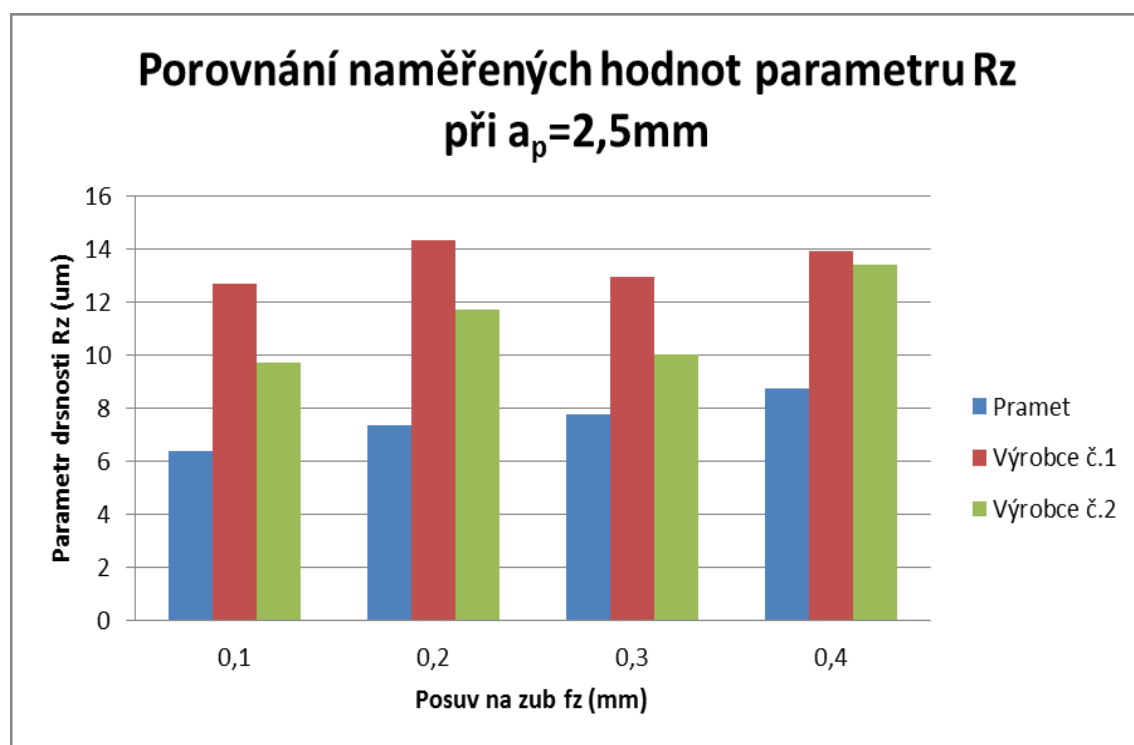
Posuv na zub f_z (mm)		0,1	0,2	0,3	0,4
Výrobce	Označení frézy Označení VBD	Parametr drsnosti R_a (μm)			
Pramet Tools s.r.o.	50A06R-SMORC10-C-P01 RCMT 10T3MOSN-M-P01; M8310	0,967	1,079	1,254	1,657
Výrobce č.1	7713VR10-A050Z06R RPHT 10T3MOT-X4; SP6519	2,443	2,599	2,519	2,463
Výrobce č.2	TFMRY 650-22R-10 RYMX 1004-M; TT7800	2,255	2,414	1,539	2,226



Graf 5.3 Grafické porovnání naměřených hodnot parametru R_a při hloubce řezu $a_p = 2,5$ mm

Tab. 5.4 Naměřené hodnoty parametru R_z při funkčních zkouškách obrábění při $a_p = 2,5$ mm na uhlíkové oceli ČSN 12 050.1

Posuv na zub f_z (mm)		0,1	0,2	0,3	0,4
Výrobce	Označení frézy Označení VBD	Parametr drsnosti R_z (μm)			
Pramet Tools s.r.o.	50A06R-SMORC10-C-P01 RCMT 10T3MOSN-M-P01; M8310	6,349	7,332	7,754	8,728
Výrobce č.1	7713VR10-A050Z06R RPHT 10T3MOT-X4; SP6519	12,699	14,306	12,920	13,911
Výrobce č.2	TFMRY 650-22R-10 RYMX 1004-M; TT7800	9,699	11,686	10,037	13,394



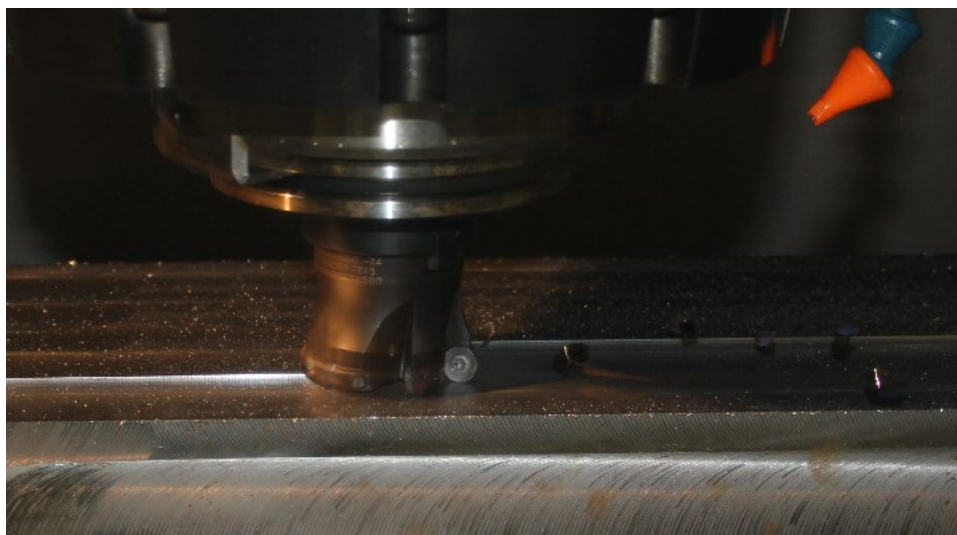
Graf 5.4 Grafické porovnání naměřených hodnot parametru R_z při hloubce řezu $a_p = 2,5$ mm

Nejlepší kvalitu obrobené plochy po obrábění při axiální hloubce řezu $a_p = 1$ mm a vyhodnocovaných parametrů drsnosti Ra a Rz , dosáhl nástroj osazený kruhovými destičkami společnosti Pramet Tools s.r.o. Nejhorší naměřené hodnoty kvality obrobené plochy měl nástroj Výrobce č. 1.

Při axiální hloubce řezu $a_p = 2,5$ mm měl po obrábění nejlepší kvalitu obrobené plochy nástroj společnosti Pramet Tools s.r.o. Nejhorší kvalitu obrobené plochy dle parametrů drsnosti Ra a Rz patří nástroji Výrobce č. 1. Tyto výsledky jsou odečteny z grafů, které jsou vytvořeny na základě reálných měřených hodnot.

5.1.4 Zatížení vřetene obráběcího stroje

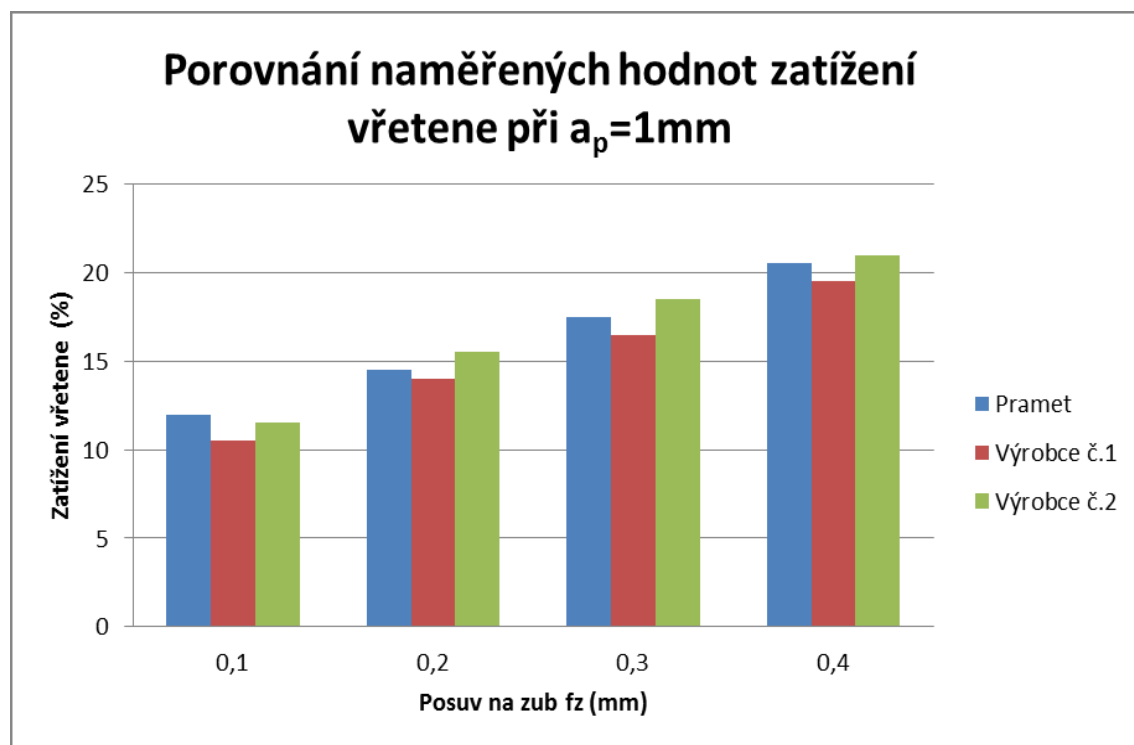
Parametr zatížení vřetene obráběcího stroje byl odečtený z počítačového panelu CNC frézovacího centra MCV 1270, při úplném zatížení frézy ve středu obrobku (obr. 5.2). Parametr je uvedený v procentech a uvádí hodnoty měřené v hloubkách řezu $a_p = 1$ mm a $a_p = 2,5$ mm. Odečtené hodnoty jsou uvedeny v tabulkách 5.5 a 5.6 a také graficky zobrazeny v grafech 5.5 a 5.6.



Obr. 5.2 Místo odečítání hodnoty zatížení vřetene stroje

Tab. 5.5 Odečtené hodnoty zatížení vřetene při funkčních zkouškách obrábění při $a_p = 1$ mm na uhlíkové oceli ČSN 12 050.1

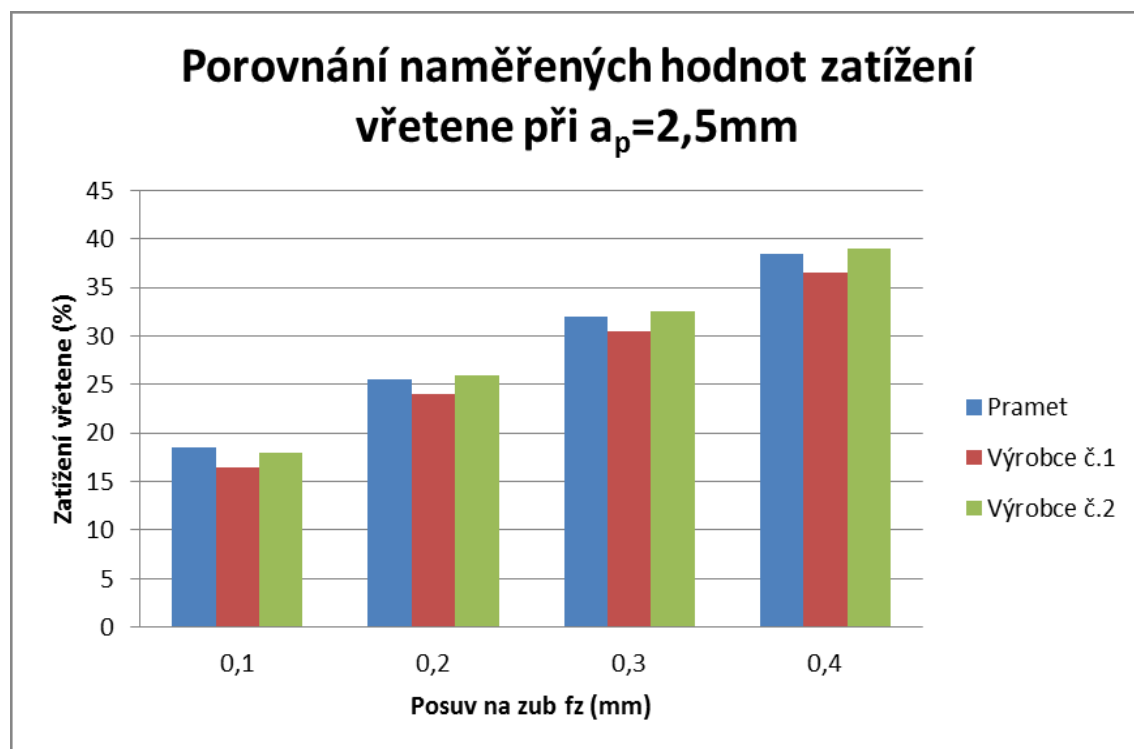
Posuv na zub f_z (mm)		0,1	0,2	0,3	0,4
Výrobce	Označení frézy Označení VBD	Zatížení vřetene (%)			
Pramet Tools s.r.o.	50A06R-SMORC10-C-P01 RCMT 10T3MOSN-M-P01; M8310	12	14,5	17,5	20,5
Výrobce č.1	7713VR10-A050Z06R RPHT 10T3MOT-X4; SP6519	10,5	14	16,5	19,5
Výrobce č.2	TFMRY 650-22R-10 RYMX 1004-M; TT7800	11,5	15,5	18,5	21



Graf 5.5 Grafické porovnání odečtených hodnot zatížení vřetene při hloubce řezu $a_p = 1$ mm

Tab. 5.6 Odečtené hodnoty zatížení vřetene při funkčních zkouškách obrábění při $a_p = 2,5$ mm na uhlíkové oceli ČSN 12 050.1

Posuv na zub f_z (mm)		0,1	0,2	0,3	0,4
Výrobce	Označení frézy Označení VBD	Zatížení vřetene (%)			
Pramet Tools s.r.o.	50A06R-SMORC10-C-P01 RCMT 10T3MOSN-M-P01; M8310	18,5	25,5	32	38,5
Výrobce č.1	7713VR10-A050Z06R RPHT 10T3MOT-X4; SP6519	16,5	24	30,5	36,5
Výrobce č.2	TFMRY 650-22R-10 RYMX 1004-M; TT7800	18	26	32,5	39



Graf 5.6 Grafické porovnání odečtených hodnot zatížení vřetene hloubce řezu $a_p = 2,5$ mm

Vyhodnocení tohoto parametru je u obou porovnávaných hloubek řezu jednoznačný. Nástroj Výrobce č. 1 pracoval při nejnižším zatížení vřetene. Snaha výrobců je mít takovou geometrii nástroje, aby zatížení vřetene mělo nízkou hodnotu. Snižuje tím náklady na výrobu a zvyšuje trvanlivost nástroje.

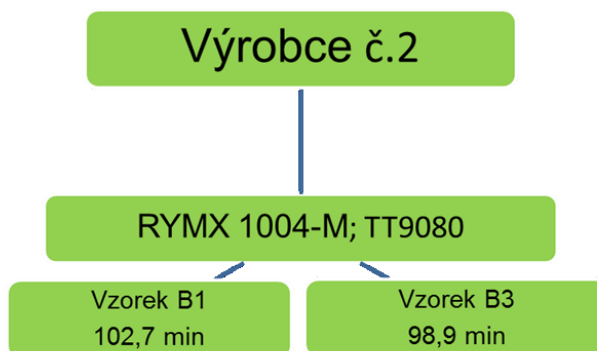
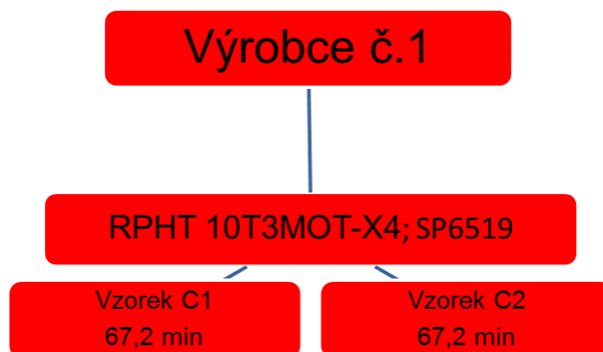
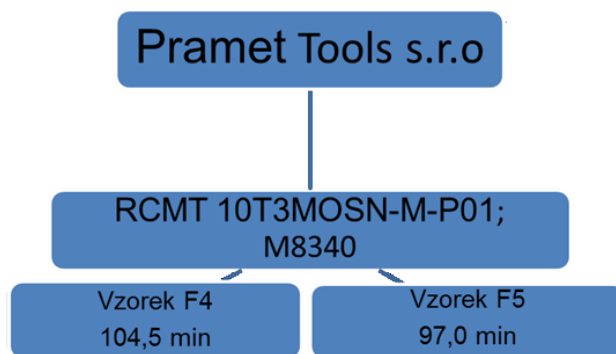
5.2 Zkoušky obrábění na stanovení trvanlivosti

Zkoušky obrábění na stanovení obrábění byly provedeny na uhlíkové oceli ČSN 12 050.9. Od každého výrobce byly porovnány vždy dva vzorky VBD. Čísla vzorků VBD jsou uvedena v navrhovaném schématu pro zkoušky obrábění na stanovení trvanlivosti. Sledovanými parametry během zkoušek obrábění bylo opotřebení bříty na hřbetě i na čele VBD s maximálním povoleným opotřebením na hřbetě $VB_B = 0,3$ mm, nebo do okamžiku vylomení bříty a to po celou dobu obrábění.

Zkoušky na stanovení trvanlivosti byly ve všech případech ukončeny v důsledku vylomení bříty a to před dosažením maximálního opotřebení bříty na hřbetě $VB_B = 0,3$ mm. Záznam opotřebení byl pořízený optickým mikroskopem, na kterém bylo změřeno velikost opotřebení na hřbetě i čele VBD. Opotřebení bylo zdokumentováno fotografiemi.

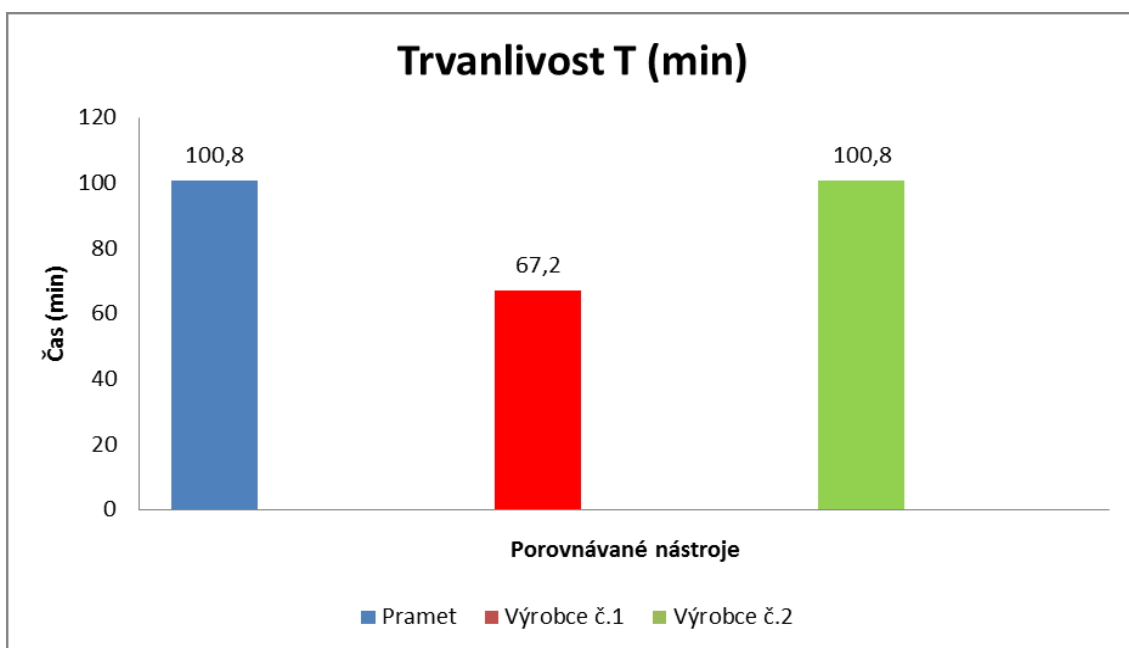
Dosažené výsledky zkoušek obrábění na stanovení trvanlivosti jsou uvedeny v tabulce 5.7. Opotřebení na čelech VBD jsou uvedeny v tabulce 5.8. V tabulce 5.9 jsou uvedeny velikosti opotřebení na hřbetech VBD. Naměřené hodnoty opotřebení na hřbetech zkoušených VBD jsou uvedeny v tabulce 5.10. Grafické znázornění hodnot z tabulky 5.10 je uvedeno v Grafu 5.8.

Schéma zkoušek obrábění na stanovení trvanlivosti






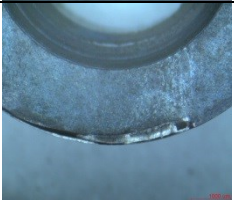


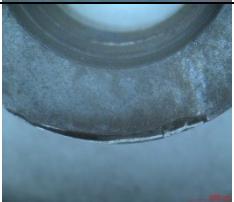


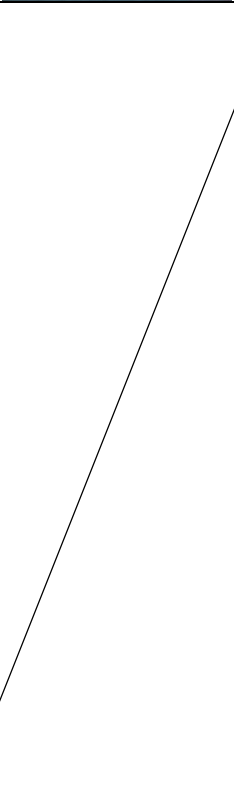






Tab. 5.7 Výsledky zkoušek obrábění na stanovení trvanlivosti na uhlíkové oceli ČSN 12 050.9

Řezné podmínky	Průměr frézy	$D_{\text{ef}} = 48,7 \text{ mm}$	Počet VBD ve fríze	1 ks
Řezná rychlost	$v_c = 260 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$		Počet záběrů	3 x
Otáčky vřetene	$n = 1701 \text{ min}^{-1}$		Obráběná délka	800 mm
Posuv	$f_z = 0,25 \text{ mm}$		Povrchová kůra	Ne
Posuv	$f_{\text{min}} = 425 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$		Přerušovaný řez	Ne
Axiální hloubka řezu	$a_p = 2,50 \text{ mm}$		Chladicí kapalina	Ne
Radiální hloubka řezu	$a_e = 30 \text{ mm}$		Čas záběru	5,6 min



















Graf 5.7 Grafické znázornění trvanlivosti břitu testovaných nástrojů

Tab. 5.8 Průběh opotřebení na čele destiček při zkoušce obrábění na trvanlivost na uhlíkové oceli ČSN 12 050.9

Výrobce	PRAMET	Výrobce č. 2	Výrobce č. 1
Označení	RCMT 10T3MOSN-M-P01; M8340	RYMX 1004-M; TT9080	RPHT 10T3MOT-X4; SP6519
Vzorek	F4	B1	C1
44,8 minuta			
56,0 minuta			
67,2 minuta			
78,4 minuta			
89,6 minuta			
100,8 minuta			
106,4 minuta			

Tab. 5.9 Průběh opotřebení na hřbetě destiček při zkoušce obrábění na trvanlivost na uhlíkové oceli ČSN 12 050.9

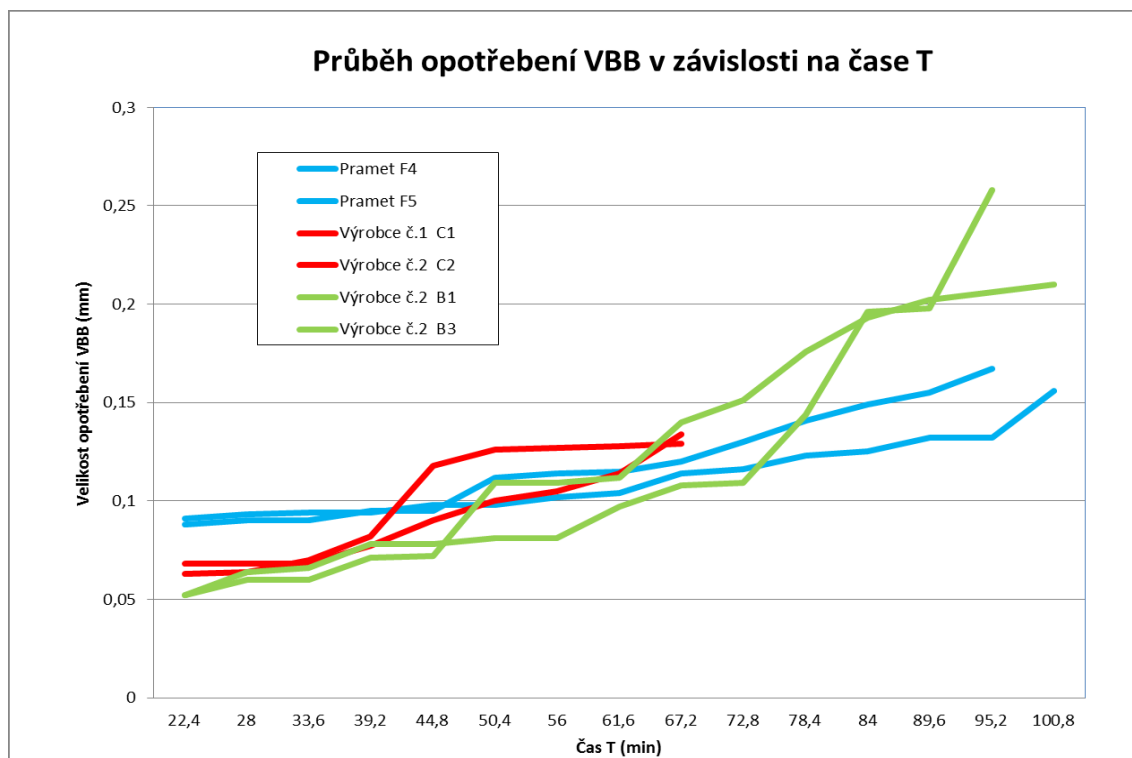
Výrobce	PRAMET	Výrobce č. 2	Výrobce č. 1
Označení	RCMT 10T3MOSN-M-P01; M8340	RYMX 1004-M; TT9080	RPHT 10T3MOT-X4; SP6519
Vzorek	F4	B1	C1
44,8 minuta			
56,0 minuta			
67,2 minuta			
78,4 minuta			
89,6 minuta			
100,8 minuta			
106,4 minuta			

Tab. 5.10 Naměřené hodnoty opotřebení VB_B u destiček ze zkoušky obrábění na trvanlivost na uhlíkové oceli ČSN 12 050.9

Výrobce	Označení	Vzorek	Kritérium VB_B (mm)	Trvanlivost T (min)							
				22,4	28,0	33,6	39,2	44,8	50,4	56,0	61,6
PRAMET	RCMT 10T3MOSN-M-P01; M8340	F4	VB_B	0,091	0,093	0,094	0,094	0,098	0,098	0,102	0,104
		F5	VB_B	0,088	0,090	0,090	0,095	0,095	0,112	0,114	0,115
Výrobce č. 2	RYMX 1004-M; TT9080	B1	VB_B	0,052	0,060	0,060	0,071	0,072	0,109	0,109	0,112
		B3	VB_B	0,052	0,064	0,066	0,078	0,078	0,081	0,081	0,097
Výrobce č. 1	RPHT 10T3MOT-X4; SP6519	C1	VB_B	0,063	0,064	0,070	0,082	0,118	0,126	0,127	0,128
		C2	VB_B	0,068	0,068	0,068	0,077	0,090	0,100	0,105	0,114

Pokračování Tab. 5.10 Naměřené hodnoty opotřebení VB_B u destiček ze zkoušky obrábění na trvanlivost na uhlíkové oceli ČSN 12 050.9 (C45)

Výrobce	Označení	Vzorek	Kritérium VB_B (mm)	Trvanlivost T (min)							
				67,2	72,8	78,4	84,0	89,6	95,2	100,8	106,4
PRAMET	RCMT 10T3MOSN-M-P01; M8340	F4	VB_B	0,114	0,116	0,123	0,125	0,132	0,132	0,156	-
		F5	VB_B	0,120	0,130	0,141	0,149	0,155	0,167	-	-
Výrobce č. 2	RYMX 1004-M; TT9080	B1	VB_B	0,140	0,151	0,176	0,193	0,202	0,206	0,210	-
		B3	VB_B	0,108	0,109	0,144	0,196	0,198	0,258	-	-
Výrobce č. 1	RPHT 10T3MOT-X4; SP6519	C1	VB_B	0,129	-	-	-	-	-	-	-
		C2	VB_B	0,134	-	-	-	-	-	-	-



Graf 5.8 Průběh opotřebení VB_B v závislosti na čase T zkoušených vzorků

Závěr

Cílem bakalářské práce bylo porovnání nástrojů pro frézování s kruhovými VBD. Byly testovány nástroje společnosti Pramet Tools, s.r.o. se dvěma vybranými výrobci. V rámci zkoušek byly provedeny jak funkční zkoušky obrábění, tak zkoušky obrábění na stanovení trvanlivosti.

Pro porovnání byly zvoleny pouze střední geometrie -M, které se používají převážně na polohrubovací operace. Funkční testy a testy obrábění na stanovení trvanlivosti byly provedeny na etalonu, uhlíkové oceli ČSN 12 050 (ČSN 12 050.1 a ČSN 12 050.9).

Z hlediska charakteru utváření třísek byl u všech testovaných nástrojů tvar a velikost třísek shodný. Podle vyhodnocovací tabulky byly třísky určeny jako plynulé, článkovité a soudržné. Toto bylo dosaženo u obou testovaných axiálních hloubkách řezu $a_p = 1 \text{ mm}$ a $a_p = 2,5 \text{ mm}$

Nejlepší hodnoty z hlediska kvality obrobené plochy a parametrů R_a a R_z dosáhl nástroj osazený kruhovými VBD společnosti Pramet Tools, s.r.o. Tyto nástroje a VBD dosáhly vysokého standartu u všech zvolených posuvech na zub f_z tak i v obou použitých axiálních hloubkách $a_p = 1 \text{ mm}$ a $a_p = 2,5 \text{ mm}$

Zatížení vřetene stroje je parametr uváděný v procentech, který je zobrazován na CNC panelu daného stroje. Čím je hodnota zatížení nižší, tím je proces obrábění příznivější. Nejnižších hodnot při všech řezných podmínkách vykazoval nástroj výrobce č. 1.

Zkoušky obrábění na stanovení trvanlivost jsou základní zkouškou pro ověření nástroje a VBD. Testy byly provedeny na uhlíkové oceli ČSN 12 050.9. Sledovanou hodnotou zde byl parametr opotřebení VB_B na hřbetě VBD za jednotku času (trvanlivost bříty může být ukončena dosažením kritéria opotřebení $VB_B = 0,3 \text{ mm}$ nebo ukončením vlivem poškození bříty). Nejdelší čas, po který břit vykonával svoji funkci, byl dosažen VBD společnosti

Pramet Tools, s.r.o. a to v délce 100,8 minut. Stejnou trvanlivost dosáhly i VBD výrobce č. 2. U obou jmenovaných došlo k poškození břitu – jeho vylomení bez dosažení kritéria opotřebení VB_B . Nejnižší hodnoty trvanlivosti v délce 67,2 minut dosáhly VBD výrobce č. 1. Řezné podmínky udávané jednotlivými výrobci zaručují minimální trvanlivost břitu v délce trvání 30 minut. Časy dosažené při zkouškách obrábění na trvanlivost u všech testovaných vzorků jsou vyšší a můžeme je považovat za nadstandardní.

Vyhodnocení funkčních zkoušek obrábění a zkoušek obrábění na trvanlivost jsou pro společnost Pramet Tools, s.r.o. velmi cenné a poslouží jako podklad pro další zlepšování plánovaného sortimentu fréz s kruhovými VBD.

Pro získání více výsledků a možnosti lepšího porovnání navrhuji provést funkční testy a testy trvanlivosti i na jiném obráběném materiálu např. nástrojové oceli ČSN 19 552 (DIN 1.2343) nebo korozivzdorné oceli ČSN 17 349 (DIN 1.4404).

Poděkování









Ráda bych poděkovala společnosti Pramet Tools, s.r.o. za podmínky, které vytvořila pro zhotovení této práce. Děkuji Ing. Martinu Binderovi, Ph.D. za jeho čas, připomínky a vstřícnost při konzultacích. Také děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Tomáši Zlámalovi, Ph.D. za rady a připomínky k úspěšnému dokončení bakalářské práce.

Seznam použité literatury









- [1] BRYCHTA, J., ČEP, R., NOVÁKOVÁ, J., PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 2. Díl*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007, s. 150. ISBN 978-80-248-1822-1.
- [2] AB SANDVIK COROMANT – SANDVIK CZ s. r. o. *Příručka obrábění – Kniha pro praktiky*. Přel. M. Kudela. 1. Vyd. Praha: Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cutting – A Practical Handbook. ISBN 91-97 22 99-4-6.
- [3] PRAMET.Katalog frézování 2014.PRAMET TOOLS, s. r. o., 2014. 340 s.
- [4] URL <http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/milling/application_overview/profile_milling/profile_milling/pages/default.aspx> [cit. 2016-12-05]
- [5] KOČMAN, K., PROKOP, J. *Technologie obrábění*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. 270s. ISBN 80-214-1996-2.
- [6] BRYCHTA, J., ČEP, R., NOVÁKOVÁ, J., PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 1. Díl*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007, s. 126. ISBN 978-80-248-1641-8.
- [7] Interní materiál společnosti SECO Tools, A.B.
- [8] KOČMAN, K., PROKOP, J. *Technologie obrábění*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. 270s. ISBN 80-214-1996-2.
- [9] URL <<https://www.kennametal.com/cs/home.html>> [cit. 2017-04-27]
- [10] URL <<https://www.taegutec.cz>> [cit. 2017-04-27]
- [11] CZ FERRO – STEEL, spol. s r.o. [online]. [cit. 4.5.2017]. Dostupné na World Wide Web: < <https://www.czferrosteel.cz/pdf/tyce-12050.pdf>>.
- [12] Návod k použití – měřicí zařízení EQUOTIP
- [13] KOVOSVIT MAS. *MCV 1270 Power*. [online]. [cit. 4.5.2017]. Dostupné na World Wide Web: < <https://www.kovosvit.cz/mcv-1270-p9.html#technicaldata>>.
- [14] ČSN-ISO 8688-1: *Rezné nástroje. Testovanie trvanlivosti pri frézování. Časť 1: Rovinné frézovanie*. Praha: Český normalizační institut, 1993.

Seznam příloh









- Příloha č. 1 Utvářecí diagram třísek – Pramet
- Příloha č. 2 Utvářecí diagram třísek – Výrobce č. 1
- Příloha č. 3 Utvářecí diagram třísek – Výrobce č. 2

$a_e = 30 \text{ mm}$	PRAMET fréza:	PRAMET VBD:	Řezná rychlost: $v_c = 220 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$	Materiál: ČSN 12 050.1
$a_p \text{ (mm)}$	50A06R-SMORC10-C-P01	RCMT 10T3MOSN-M-P01; M8310	Chlazení: ne	Tvrdost: 171 HB
1,0				
$R_a \text{ (um)}$	0,507	0,788	1,180	1,573
$R_z \text{ (um)}$	4,626	4,864	6,508	8,663
Posuv $f_z \text{ [mm]}$	0,1	0,2	0,3	0,4
Posuv $f \text{ [mm} \cdot \text{min}^{-1}]$	914	1828	2742	3655
2,5				
$R_a \text{ (um)}$	0,967	1,079	1,254	1,657
$R_z \text{ (um)}$	6,349	7,332	7,754	8,728
Posuv $f_z \text{ [mm]}$	0,1	0,2	0,3	0,4
Posuv $f \text{ [mm} \cdot \text{min}^{-1}]$	864	1728	2592	3456

Příloha č. 2 Utvářecí diagram třísek – Výrobce č. 1

$a_e = 30 \text{ mm}$	Kennametal/Stellram fréza:	Kennametal/Stellram VBD:	Řezná rychlost: $v_c = 220 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$	Materiál: ČSN 12 050.1
$a_p \text{ (mm)}$	7713VR10-A050Z06R	RPHT 10T3MOT-X4; SP6519	Chlazení: ne	Tvrdost: 171 HB
1,0				
$R_a \text{ (um)}$	1,797	2,225	1,820	1,917
$R_z \text{ (um)}$	10,062	11,977	10,119	11,745
Posuv $f_z \text{ [mm]}$	0,1	0,2	0,3	0,4
Posuv $f \text{ [mm} \cdot \text{min}^{-1}]$	914	1828	2742	3655
2,5				
$R_a \text{ (um)}$	2,443	2,599	2,519	2,463
$R_z \text{ (um)}$	12,699	14,306	12,920	13,911
Posuv $f_z \text{ [mm]}$	0,1	0,2	0,3	0,4
Posuv $f \text{ [mm} \cdot \text{min}^{-1}]$	864	1728	2592	3456

Příloha č. 3 Utvářecí diagram třísek – Výrobce č. 2

$a_e = 30 \text{ mm}$	TaeguTec fréza:	TaeguTec VBD:	Řezná rychlost: $v_c = 220 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$	Materiál: ČSN 12 050.1
$a_p \text{ (mm)}$	TFMRY 650-22R-10	RYMX 1004-M; TT7800	Chlazení: ne	Tvrdost: 171 HB
1,0				
	$R_a \text{ (um)}$	1,431	1,714	1,994
	$R_z \text{ (um)}$	7,097	9,893	12,219
	Posuv $f_z \text{ [mm]}$	0,1	0,3	0,4
	Posuv $f \text{ [mm} \cdot \text{min}^{-1}]$	914	2742	3655
2,5				
	$R_a \text{ (um)}$	2,255	1,539	2,226
	$R_z \text{ (um)}$	9,316	10,037	13,394
	Posuv $f_z \text{ [mm]}$	0,1	0,3	0,4
	Posuv $f \text{ [mm} \cdot \text{min}^{-1}]$	864	2592	3456